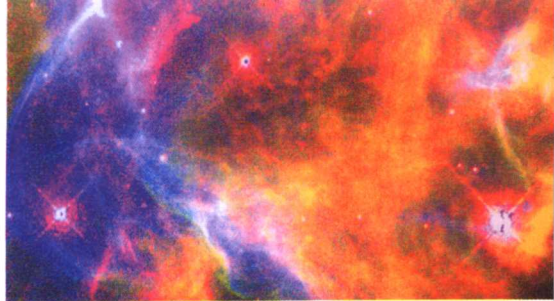


第一章

哈勃太空望远镜和宇宙



众星随手挥就的传说遍布浩瀚难驯的宇宙，在我们眼中闪烁微光。

——克莱恩 (Hart Crane)

远方的光千里迢迢地抵达地球，被我们的新眼睛——望远镜、全频时间仪——尽收眼底……有了这些新眼睛，我们便能像早期的探险家一般展开多彩多姿的旅程，直探宇宙的边际。

——罗弯·鲁宾逊

(Michael Rowan-Robinson)

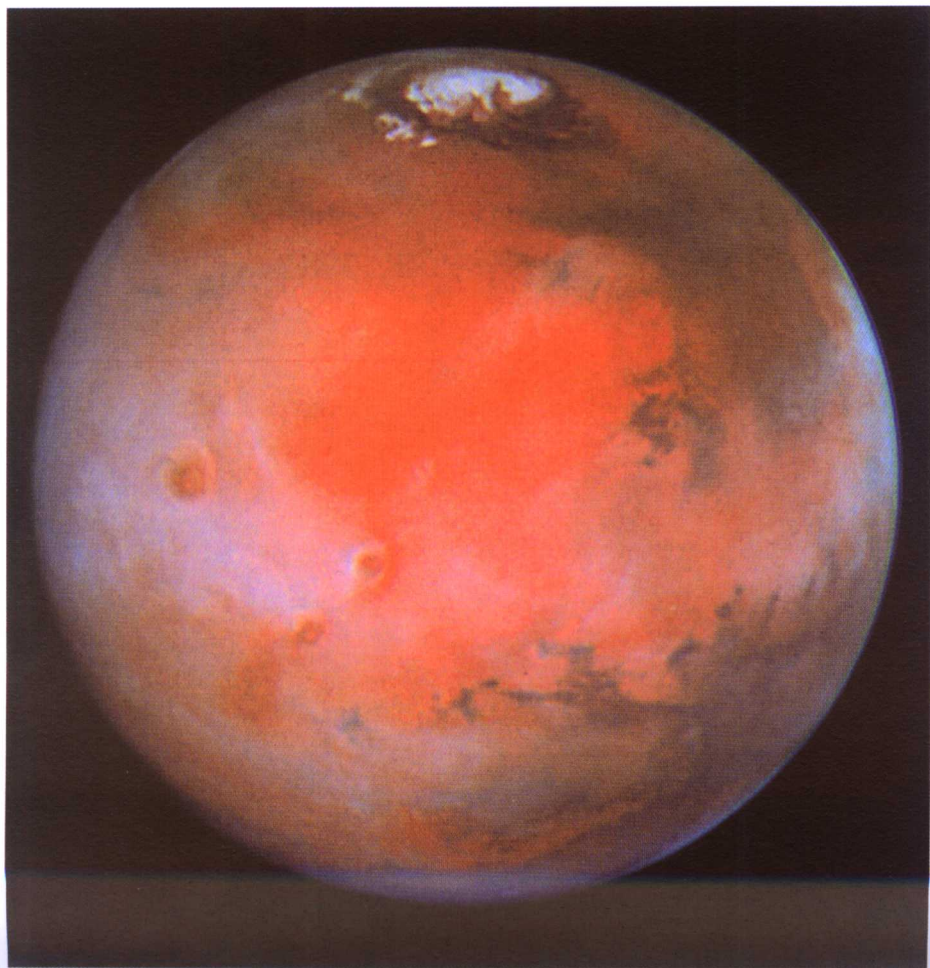


图 1.1 图为 1997 年 5 月 20 日，由哈勃太空望远镜拍摄到的火星全貌。当时，这颗红色行星的北半球正值初夏。

(Philip James, Univ. of Toledo; Todd Clancy, STScI; Steven Lee, Univ. of Colorado; NASA 等提供)

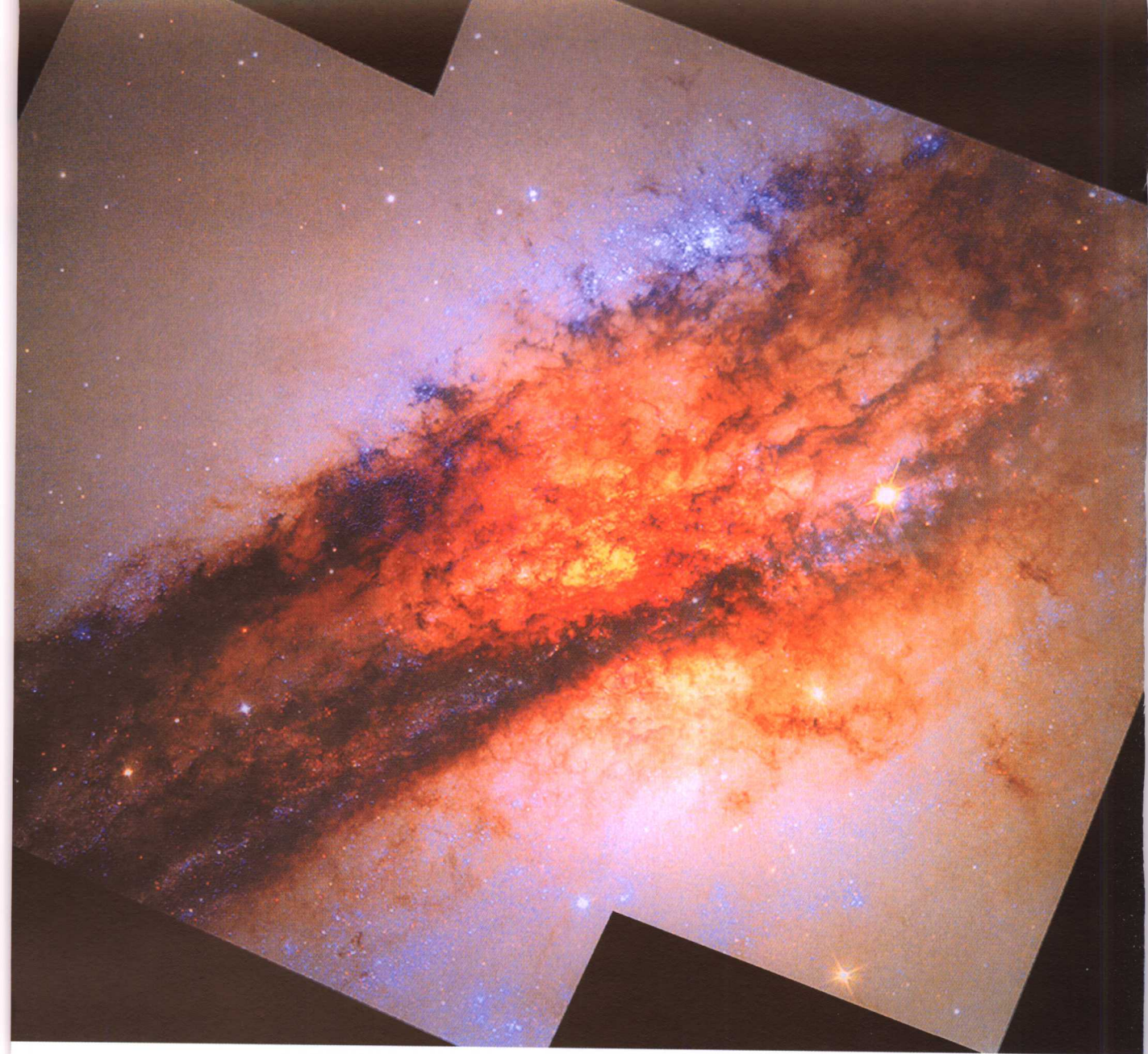


图 1.2 图中为半人马座 A 星系(Centaurus-A, NGC 5128)的中心,有新恒星诞生。此星系离地球约只有1000万光年远。近红外光相机及多目标分光测热计可以穿透星系周围由气体与尘埃组成的薄雾,进而拍摄到位于星系中心的大型黑洞。此黑洞正在吞噬一个与半人马座 A 星系相撞的小星系。
(Ethan Schrier, STScI; NASA 等提供)



图1.3 图为靠近我们的M33星系中一处巨大的恒星诞生地，由哈勃的广角行星相机2号拍摄而得。此星云(NGC 604)中心有超过200颗炽热、质量重的年轻恒星。恒星的辐射把星云的气体加温，使星云的轮廓变得很明显。
(Hui Yang, Univ. of Illinois; NASA 等提供)

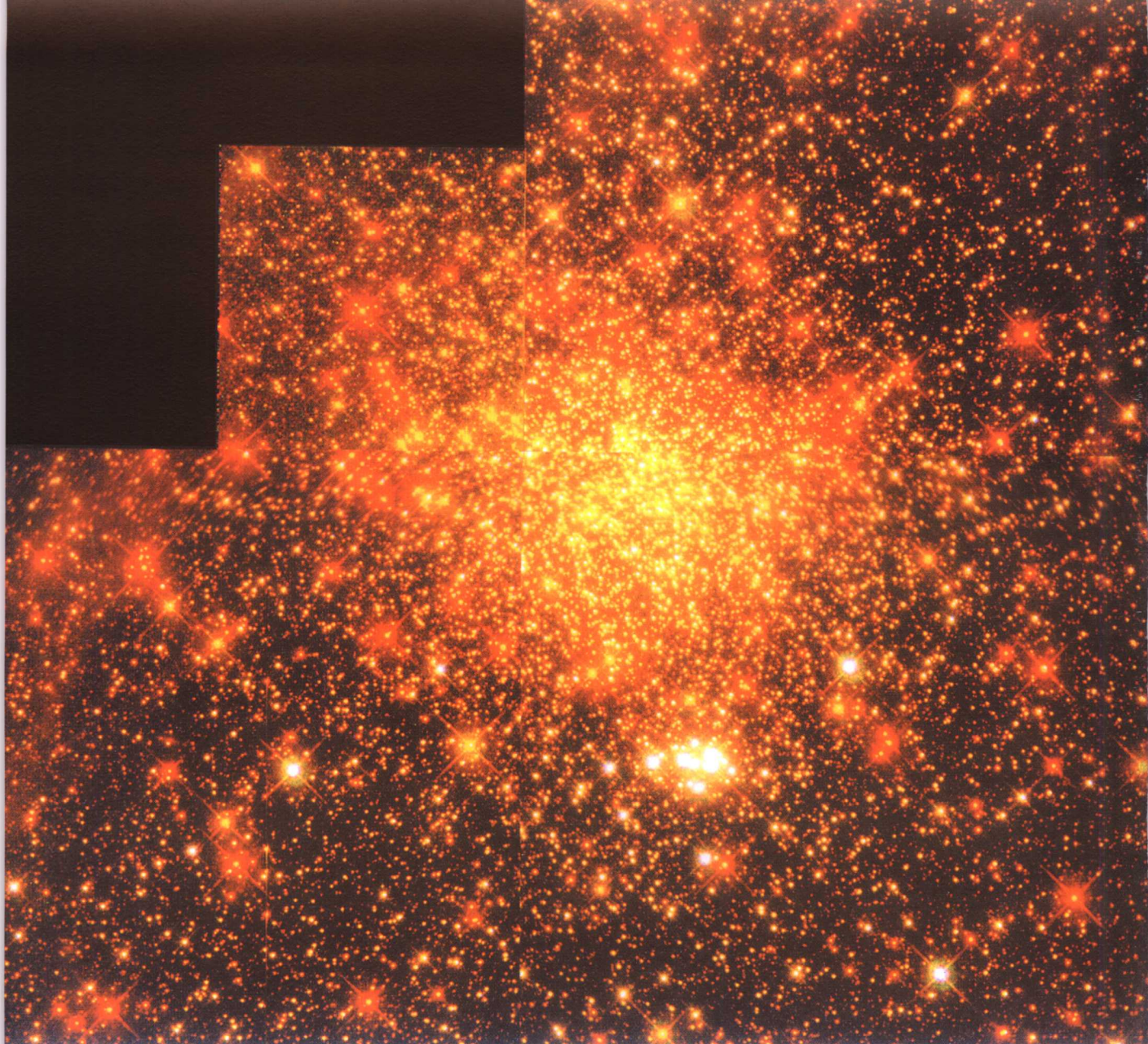
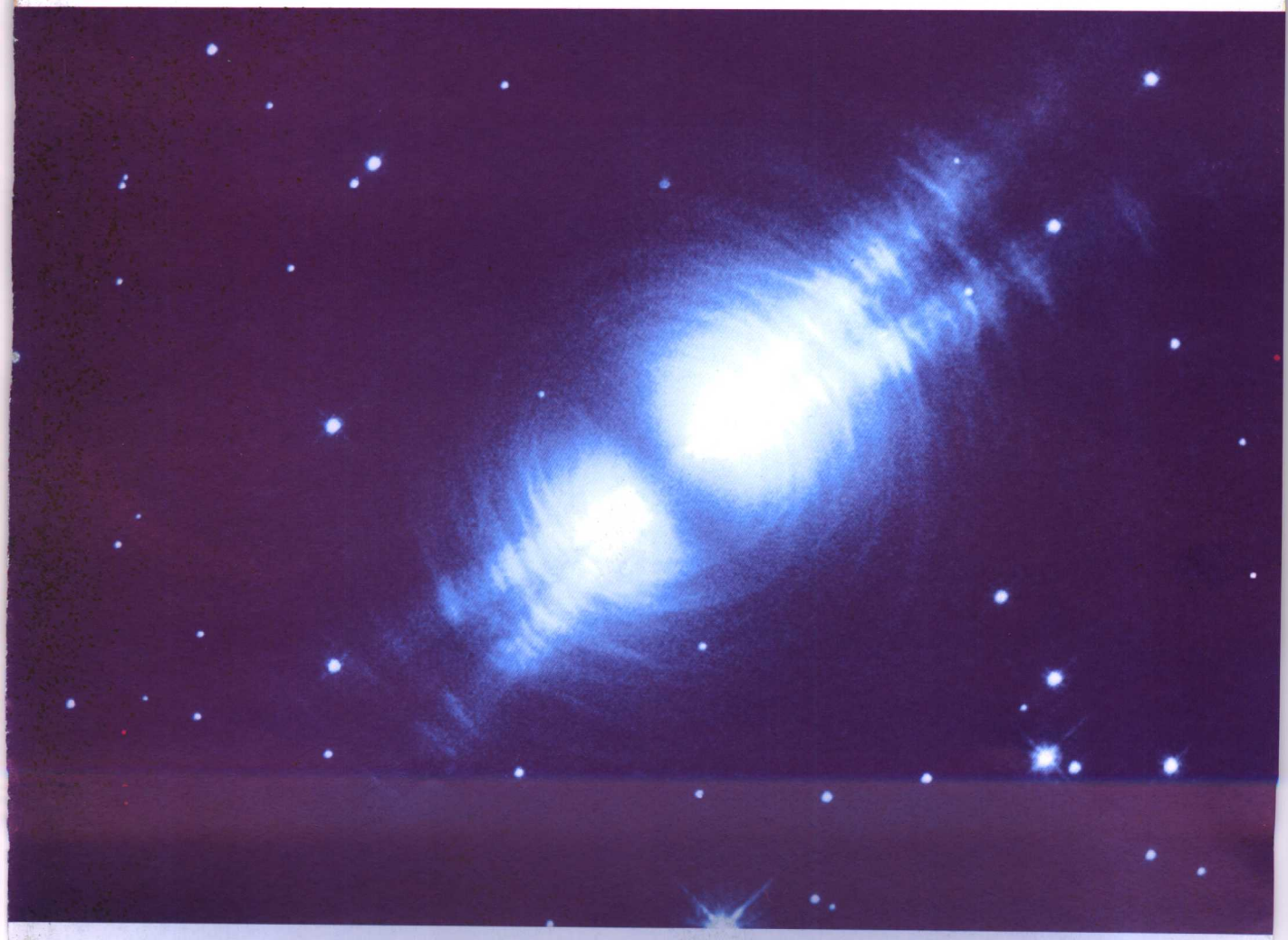
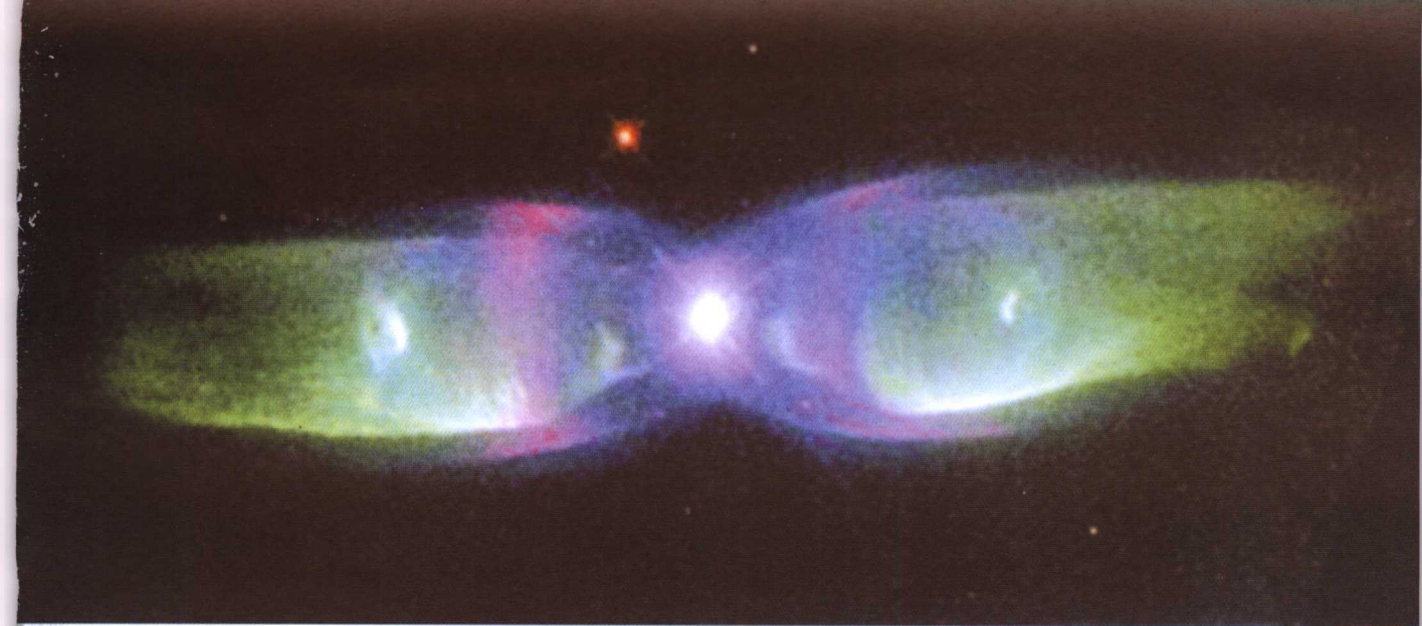


图 1.4 图为大麦哲伦云中的两群星团，由广角行星相机 2 号摄得。从这幅视野宽达 130 光年的图片内，我们可以看到将近 1 万颗恒星，其中大部分恒星都属于 NGC 1850 星团。
(R. Gilmozzi, STScI/ESA; NASA 等提供)

图 1.5 (右页)由广角行星相机 2 号拍摄到的两团行星状星云。(上图)M2-9 的“蝴蝶”形状背后，其实是两股从星云的中心把物质向外推送的喷流，喷流的速度在每秒 300 公里以上。
(Bruce Balick, Univ. of Washington; Vincent Icke, Leiden Univ., Netherlands; Garrelt Mellema, Stockholm Univ.; NASA 等提供)

(下图)图为 CRL 2688，又称为“蛋状星云”，图中显示了历时 1 万年的质量损失情形。弧状物为濒临死亡的恒星爆炸开来的外壳稠密物质。图中明亮的“探照灯”光束表示，在这历时 1 万年，从恒星喷射出来的云气当中，可能有洞存在。
(R. Sahai, John Trouger, NASA Jet Propulsion Laboratory; NASA 等提供)



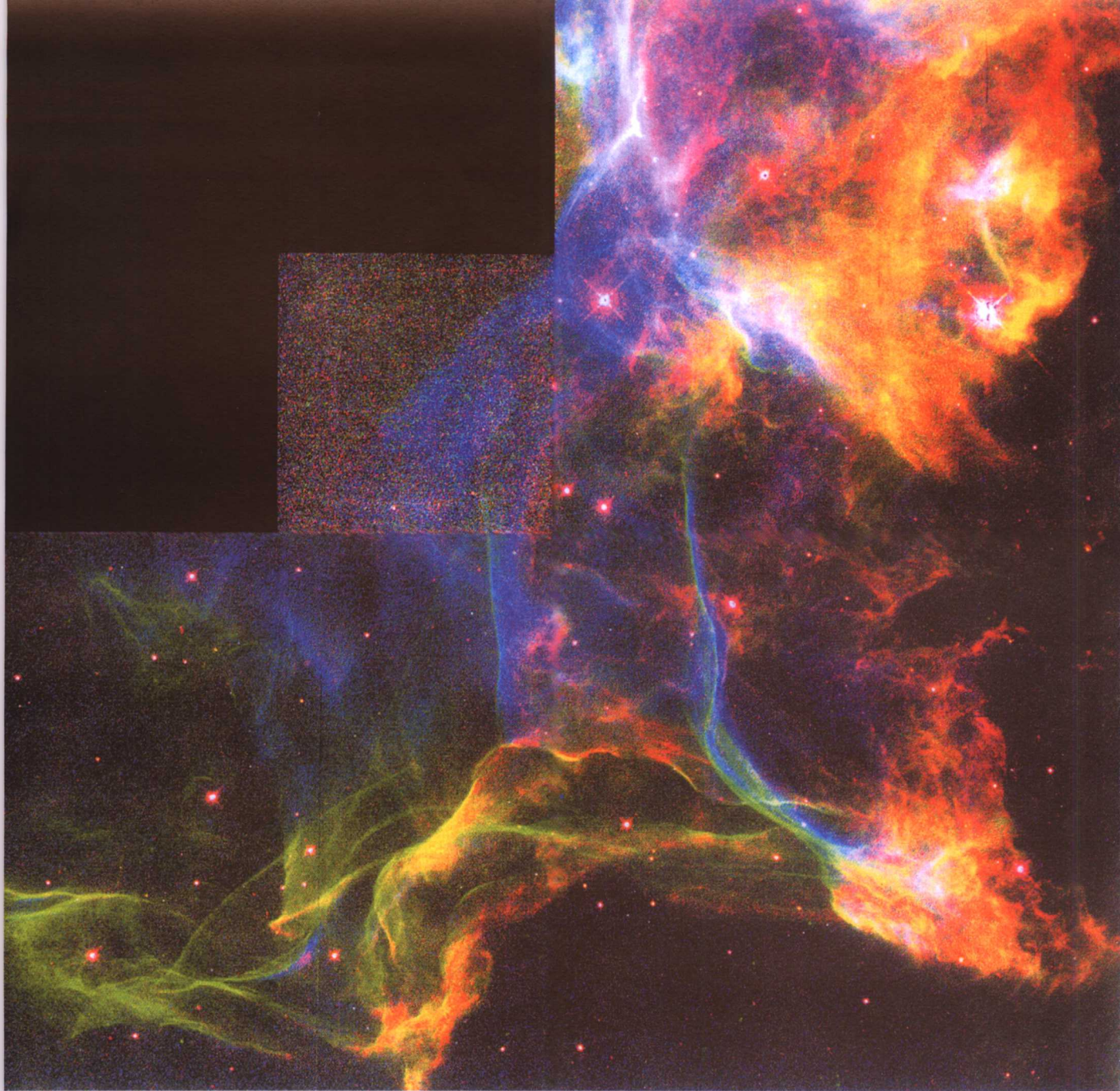


图 1.6 图为超新星残骸内的一小部分，即著名的“天鹅座环”(Cygnus Loop)，由广角行星相机 2 号摄得。本图中，自超新星发出的冲击波与稠密的星际气体相撞，造成气体温度升高而发光。

(Jeff Hester, Arizona State Univ., NASA 等提供)



图1.7 通过广角行星相机2号所见星系相撞之后的余波。图中的孪生星系核呈橘黄色块状。明亮的蓝色星团则分布广泛，呈螺旋状，这些星团的诞生是由于两星系相撞所引发。
(Brad Whitmore, STScI; NASA 等提供)

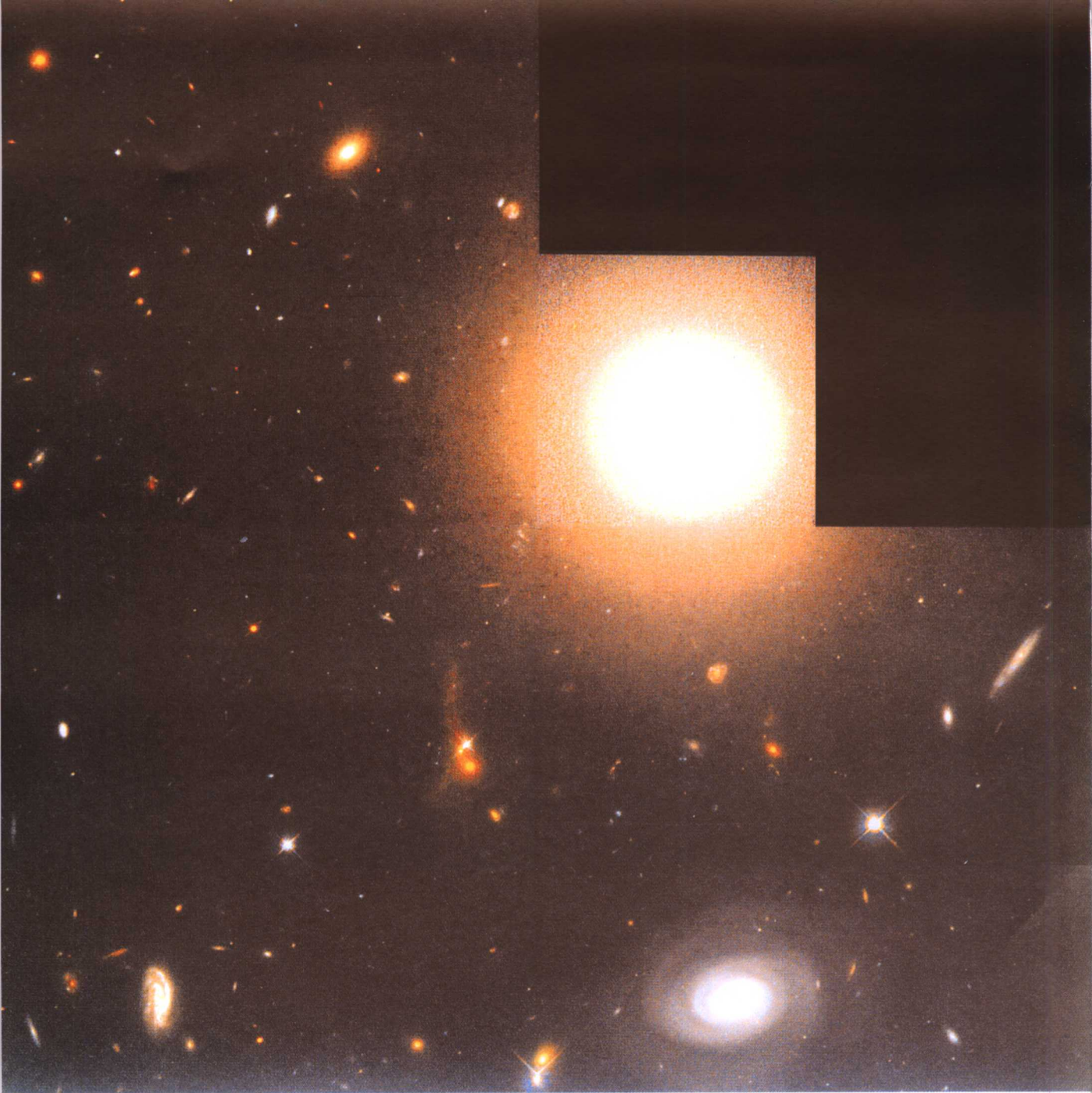


图 1.8 本图是以 NGC 4881 为中心所拍摄到的远方星系照片。这些位于后发星团边缘以及更远处的星系，与地球相距可能都超过了 1 亿秒差距以上。

(William A. Baum, Univ. of Washington, the HST WF/PC Team; NASA 等提供)

自古以来，人类就有观看星空的习惯。在漆黑、晴朗无云的夜空，每当我们抬头仰望星空，刹那间心灵即为灿烂的星空所感动。想想看，先前多少世代以来，有过多少天文学家，曾经像我们现在一样，望着这引人好奇的神秘宇宙。这激发了我们的动力，使我们不禁想去窥探其中的奥秘。可笑的是，仔细一看才知道几乎不可能，因为除了几个邻近的行星之外，随便挑一个星球都和地球距离非常遥远，杳不可及。尽管如此，星星的距离与光芒仍一直令人着迷。我们会望着星空的某处问着，那是什么？它距离我们多远？在太空中跑多快？而宇宙的年龄究竟有多老？范围有多大？它到底会不会毁灭呢？

天文学就是要为以上这类问题提出解答。设想天文学家可以像《星舰奇航》(Star Trek)中的“企业号”般，通过宇宙飞船的舰桥来观察宇宙——以重力曲速穿梭于行星与恒星系统之间，并使用长程扫描仪和先进的探测仪来调查星际间的奥秘，将会是多么兴奋的事！可惜，就算如此，我们的生命仍太过短暂，连时间尺度较短的恒星与银河演化也未能亲眼目睹。可是，天文学家并不气馁，为了了解宇宙，他们发明了一些前所未有、极了不起的工具来辅助探秘。

哈勃太空望远镜即是一例，1990年，它在科

学界的一片欢呼声中，风风光光地成为首席天文台。凡是对天文感兴趣的人都知道，在天文学家发现哈勃太空望远镜出问题以后，哈勃随即历经了一段艰难的“试航”期。最广为人知的就是发现主镜有球面像差，基本原因是主镜研磨不正确。原意是想要将物体上大部分的光反射到聚焦良好的“光核”中，结果却只有小部分对准光核，其余均散布到光核周围的扩散光晕中。这样一来，到达科学仪器的光就严重变少，导致无法紧密聚焦以得到良好的观测结果。为了解决望远镜上的球像差以及若干其他零件故障等严重问题，美国国家航空航天局(NASA)在1993年进行了一项复杂的校正任务。在历经了这项校正任务，以及于1997年安装两台新仪器的另一项维修任务之后，我们终于有了一座可以在轨道上运行的天文台，每天都可以开工，完全不受大气影响。它的观测范围几乎涵盖太阳系内所有的天体，远则可以达到宇宙观测的极限。(读者如果对哈勃太空望远镜的早期经历感兴趣，本书第六章专门介绍哈勃的历史以及支援哈勃的相关任务。)

远在哈勃太空望远镜展开漫长旅途数年前的某个怡人秋夜里，一对父女站在屋外仰望星空。由于这个女孩一整天下来，已经从屋内大人的闲聊里知道，太空中出现了一样奇怪的新玩意——

一个叫做“史泼尼克”(Sputnik)的人造卫星,所以女孩乞求父亲带她到户外,为她指出“史泼尼克”在哪里。他们等到天暗下来,星星开始闪烁时才出门。父亲试着告诉她“史泼尼克”就在上面的某处,但是不容易看到。女孩触目所及是满天星斗,根本分不太出来看到的是什么。然而父亲眼里所看到的,却是小女孩渴望的找寻一样自己从来都不了解的东西。尽管如此,父女俩那晚仍然驻足户外,寻找划越天际的闪烁亮点——地球的第一颗人造卫星。虽然始终未曾见到“史泼尼克”,但这却是引领小女孩认识夜晚星空的关键,并从此拓展了她的宇宙观。

自“史泼尼克”升空40多年后,迄今,人类已不断定期运送仪器、动物、人员上太空。而我们对于宇宙的了解,其实就像那个小女孩一样少,但是随着每一次太空任务的进行,人们对宇宙的了解就更多一点。宇宙不但比我们所想像的还复杂,而且用来研究宇宙的仪器,也从简单的望远镜进步到精密复杂、结合了光学与电子学系统的多频探测仪,这些发明为我们开启了空间和时间上划时代的视野。

从微观的原子世界到宏观的银河范畴,处处都反映出宇宙的复杂性。为充分体认此惊人的尺度变化范围,我们不得不将它转换成我们熟悉的单位来理解。当然,最简单的就是举日常所用的公里单位为例。譬如我们平日白天出门工作或上学的距离通常为数公里远,而我们从一个国家旅行到另一个国家的距离则可能是数千公里之遥。再举较大的尺度为例,譬如太阳系,它的范围横跨了数千到数百万公里不等。从这里,我们可以再将好奇的眼光放远,由自己所生活的行

星,投向银河系(Milky Way Galaxy)内数亿公里之遥的恒星。至于在银河系以外的太空中,则尚有紧密聚集成群的星系旋转运行于宇宙内,大约和我们相距数百万到数十亿公里远。而就在天文学视野较模糊的边缘地带(在远远超过数十亿公里远的地方),我们找到了宇宙诞生的证据。无疑,我们探究宇宙的真正目的,就是希望能够了解宇宙不断发生变化的整个过程。

其实,我们每天都会看到变迁和演化的起因,举凡地震摧毁城市、暴雨冲走家园、飓风破坏沿岸地区等等,不胜枚举。另外,随着大城市、公路、水坝、桥梁的恣意扩建,地球的面貌已经改变了。我们找到证据显示过去在火星的表面上曾经有水存在,当时的风貌和今日完全不同。此外,在星空的某个角落,有团庞大的气体和尘埃云即将孕育出新恒星;在另一个角落,却有另一团状似不祥的气体云留存着遽变中死亡的超巨星残骸。偶尔,我们也可以从邻近某个美丽的星系中,看出该星系的起源。然而,我们是怎么知道这一切呢?这都要归功于平日习以为常的光,我们只是充分了解它的特性并加以运用而已。

光与天文学

光是解开天文之秘的罗塞塔石碑(Rosetta Stone)^①,是了解宇宙复杂奥秘的指引。只要物体会辐射或反射光,我们就可以通过这些光而得知许多关于物体的资料,包括了物体的温度、化学成分,以及物体行经宇宙时的速度与方向等。因此,天文学史可说是人类学习如何解读光的奥秘的历史。一旦知道光是了解宇宙的关键所在,

人类遂大量发展一系列的仪器，来捕捉以各种不同形式呈现的光，并加以分析。

我们最熟悉的是肉眼就能看见的光，称为“可见光”。它只是天文学家所关心的全系列“光”的一部分，范围从 10^{-8} 米的最短波长到3毫米的最长波长。同样，天文学家所提到的“光”也只是全系列电磁波的一部分，此全系列

电磁波统称为电磁波谱(electromagnetic spectrum, 简称EMS)。另外，对于波长极短的光，天文学家采用另一种单位——埃(angstrom)来描述，1 埃等于 10^{-10} 米。如此一来，“光”的最短波长就等于100埃。电磁波谱涵盖了所有的辐射，从 γ 射线、X射线、紫外光到可见光、红外光、无线电波，都在它的范围内。为了有个相对大小的体认，试想像电磁波谱中的所有波段——包含最长到波长100米的无线电波——都摊开

摆在长约一个美式足球场的空间上(约91.4米)，则落在4000埃到7000埃之间的可见光谱带——即肉眼可以看到的光范围——将只占约 3×10^{-7} 米宽，比足球场上的一片草叶还薄。

可是，并不能因此就把光定义成为许多波长的集合。无疑，光能显现出波的行为，不过，却也可以表现得有如粒子一般。事实上，光可以同时表现出波

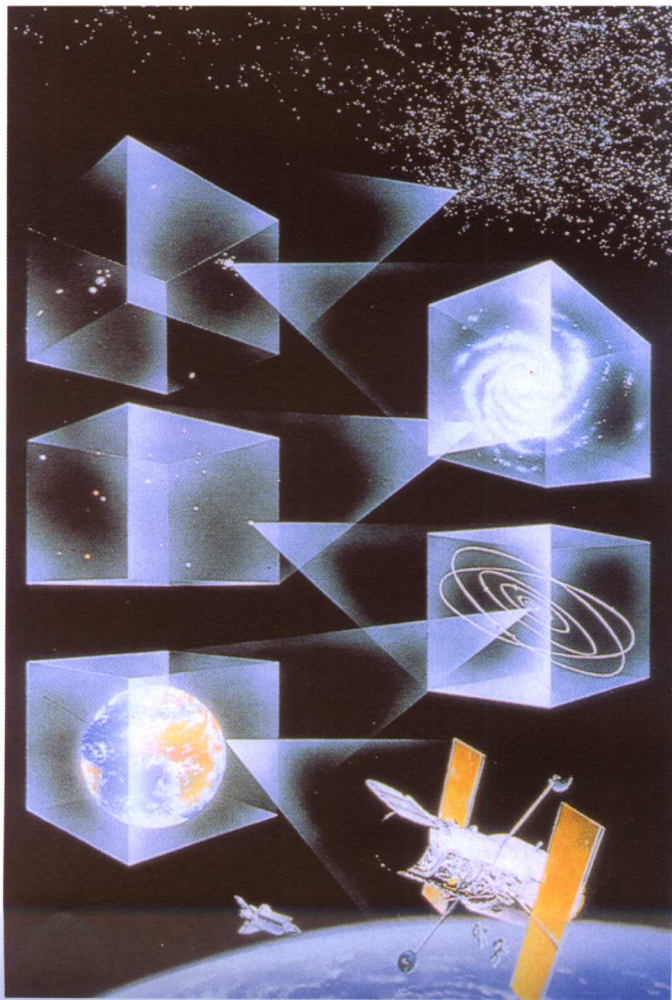


图1.9 本图显示宇宙内各类天体系统的大小和尺度。图中可以看到一个包含地球在内的方块，里面有太空人正在维修哈勃，显然哈勃只是这个方块内的一个点；而此方块也不过是包含太阳系在内的方块中的一个点而已。依此类推，我们的行星系统只是邻近恒星空间之中的一个点，而这些恒星空间所构成的方块，也不过是银河系旋臂上的一个点；而银河系又是邻近星系空间之中的一个点，最后，这些星系空间所构成的方块，也仅是整个宇宙中的一个点而已。

(Dana Berry, STScI 提供)

①罗塞塔石碑，1799年在埃及亚历山大城发现，上刻有希腊文、古埃及象形文字与通俗文字的铭文。历史学家根据几种文字的对应关系，破解了古埃及象形文字之谜。

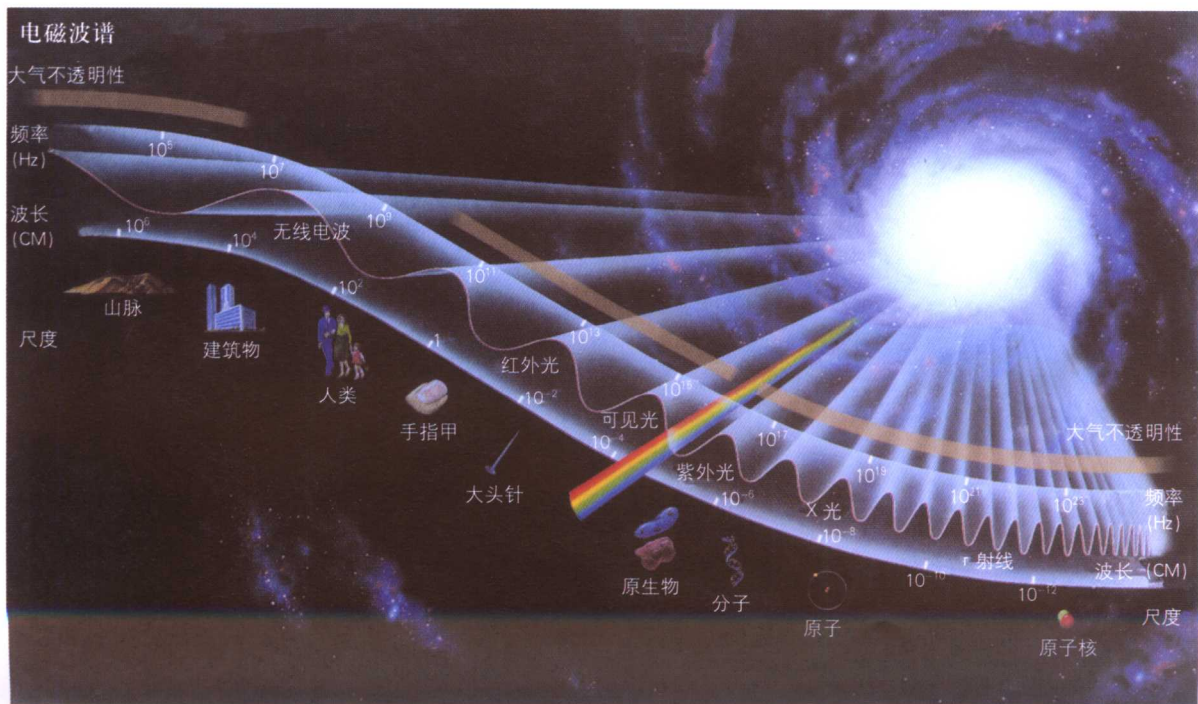
与粒子的特性，它们之间的区别依赖我们是采用哪种方式来观测光。光的粒子称为光子，可视为一个能量包，每一个光子都具有一种能量值，单位为焦耳。光子也潜藏有波的性质——也就是说，它会显露出波长的特征。例如红光，波长约在6500埃左右，光子能量大约为 3×10^{-19} 焦耳。一般屋内所使用的灯泡会辐射出淡黄白光，它是由比红光能量还高的光子所组成。当你点亮100瓦灯泡，每秒就辐射出约 10^{20} 个光子，而其余能量皆以热能形式散发出去。

的夏日里步行于海滩上的情景。当你作日光浴时，从太阳辐射出来的可见光光子会打到你的眼睛上，使你能看见周围的环境，同时，你也可以从太阳的温暖感受到红外光，以及让皮肤灼伤或晒得黑黝黝的紫外光辐射。另外，太阳还会辐射出更高能量的紫外光与 γ 射线，不过，因为地球的大气层已将之遮挡住了，所以躺在沙滩上的你并不会感受到。

现在再将上述体验转移到观测天体的情形上。想像你带着观测的装备——单筒或双筒望远镜、星座图、热饮、巧克力棒、毛毯、收音机或CD随身听——步履蹒跚地走到户外，彻夜

图 1.10 图为电磁波谱(EMS)。图中画出了所有电磁波范围、对应的尺度大小以及最可能辐射该能量的物体。地球大气层的不透明性看起来就像一条银带，它决定了哪些辐射才能穿透大气层到达地面。事实上，只有可见光和无线电波才能到达地面，其余则不能。

(Dana Berry, STScI; Greg T. Flynn, Sky Publishing Corporation 等提供)



进行观测，此时，你所观看到的很可能是那些辐射出可见光波的物体。假如你观测的是月亮或行星，由于它们本身不会发光，因此你见到的只是反射光而已。恒星与银河本身可以制造出光子，所以观测到的是直接从它们身上发射出来的光。

以上所遭遇的情形，对于那些专业天文学家 and 许多位居各地的资深业余天文学家而言，其实并没有太大的差异，只不过他们使用来研究宇宙的是较大型的望远镜，以及较复杂的仪器而已。不过，这些天文学家为了不让视野只局限在可见光波段，除了使用地面上的各种仪器外，也使用轨道上的观测装备来研究各波段的光。

天文学：观测的科学

现今使用到的众多天文仪器背后都有一个很简单的原理：尽可能从宇宙中的物体收集多一点的光，以作分析。至于收集到的是哪一种光，则取决于收集时所运用的仪器类型。世上没有理想的光感测仪，也没有一种仪器能完美地感测到所有波长的光。因此，天文学家采用不同感测仪来研究不同波长的光。

大家最熟悉的天文工具就是望远镜。它本质上只是一具采集电磁辐射的仪器——通常收集的辐射为紫外光、可见光、红外光或无线电波段。以“光学”望远镜为例，它的中心会有一个聚焦镜，能将光反射到其他感测仪上，如软片相机，或一种称为电荷耦合器件(charge-coupled device, CCD)的电子记录仪。电荷耦合器件为一种广泛应用于各类型望远镜上的特制相机。这种相机内有一块极为灵敏的晶片，可收集打在晶片

表面像素(pixel，或称映像点)上的光，然后，可从晶片中读取影像，再转存到电子储存媒介中。其实，电荷耦合器件和其他种类的相机并没什么两样，都是用来捕捉某定点时间发生的天文事件。从相机拍摄到的影像中，天文学家可以获得许多资料，诸如天体的亮度、形状、位置以及天体和其邻近天体的空间关系等。

望远镜建造得越大，能收集到的光自然就越多。可是，有些很现实的考虑因素限制了仪器的大小和大望远镜的架设。首先，望远镜镜片有尺寸的限制。虽然大一点的镜片能够收集多一点的光，让使用者多一点机会看到愈暗、愈远的物体，可是，镜片不能做得无限大，否则支撑的结构也要跟着变得无限大，才能承载得住镜片。还有，镜片形状完不完美也影响镜片对入射光做紧密聚焦的能力，而镜片太大时，形状容易受本身重量影响而弯曲、下垂，造成变形。

至于天文台的建造地点，如果能远离光源、热源、无线电波等污染，就可以发挥最大功能。最理想的地点是在高山上，这样才能大幅减轻地球大气对入射到望远镜的光所造成的影响。因此，世界上有许多的天文台不是坐落在山顶上，就是位于荒郊野外或沙漠地带，前者有夏威夷的冒纳凯阿(Mauna Kea)、智利的托洛洛山(Cerro Tololo)、法国的中央峰(Pie du Midi)等天文台，后者例如位于美国新墨西哥州索科洛市(Socorro)附近的大型阵列望远镜。为了“完完全全远离大气的干扰”，最近更有新的想法，那就是直接使用太空天文台来观测。我们可以在宇宙飞船上搭载各类设备和感测仪，并且利用它环绕地球轨道或执行“飞越”(fly-by)任务时，对那些尚未遭地

球大气层过滤掉的光波进行研究。

基本上,天文观测大致可划分为以下3种不同的领域:照相学、光度测量学和光谱学。在照相学方面,我们是将光记录在软片上或前面提过的电荷耦合器件上。目前已知宇宙中有某些天体,演化速度相当快,科学家如果能对这些天体或事件的演化过程进行研究,收获必定颇为丰富。当然,通过望远镜,我们可以达成在观测期间内进行多次拍摄的目的,而且望远镜的观测时间也可以比我们使用眼睛观看时来得持久。但是,不管是使用一般的软片相机、感光板或只用电荷耦合器件,我们所能拍摄得到的“张数”始终都有限度。因此,这时候必须使用专业的相机,才能适时捕捉到一个事件发生的

前后过程,这里就牵涉到时间分辨率(temporal resolution)的概念。一个很好的照相系统,应能在几分之一秒的时间内为我

们拍摄到数张事件的“快照”。

有时候,望远镜会朝向有许多天体丛聚的地方(例如星团等)作观测。如果我们现在只想研究星团中的某颗恒星,那么仪器能不能将这颗恒星与邻近的恒星区别出来,对我们的影响就很大,这就是空间分辨率(spatial resolution)

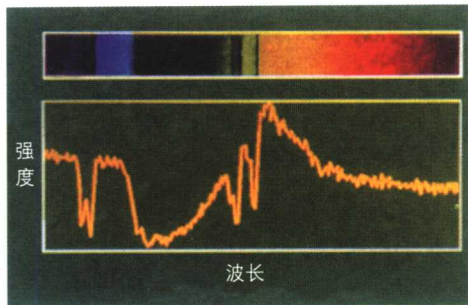
的概念。它是一种可以从紧密聚集的物体中分辨出个体,进而产生轮廓鲜明的影像的能力。

光度测量学是一门对物体的光波强度进行量测的学问,通常利用光度计等时间分辨率高的仪器来记录。我们可以把光度计视作一种相当灵敏的测光表,它就像一般闪光摄影中所用的装备一样,常用来测定像变星这类光波强度会改变的天体。之所以一定要测定出光波强度,是因为惟有这样才能决定诸如恒星等的宇宙天体的亮度或星等(magnitude)。平时天文学家描述天体亮度时,常会提及8星等恒星或5星等彗星之类的用语,这里所用到的星等数,是指该天体与其他天体比较之下的相对亮度。最亮的恒星,星等数最小;而愈暗淡的恒星,星等数愈大。在夜空中看起来相当明亮的恒星有:视星等为 -1.5 的天狼星(Sirius)、视星等为 -0.7 的老人星(Canopus)及视星等约 0.5 的参宿四(Betelgeuse)。至于肉眼所能见到的极暗淡恒星,星等数大概是在5或6左右。

由于不同的光度计只能量测到不同波段的光,所以必须使用一整套灵敏度范围各不相同的光度计,以量测红外光、紫外光或可见光等不同波段。其实,利用光度测量不但可以有系统地将天体进行划分、归类,也可以有系统地观察天体发光的变化如何影响它呈

图1.11 很多通过哈勃太空望远镜搜集的资料,都是光谱分析后的结果,分析出来的光谱看起来就如同本图。图中上半部细长彩色带上有暗线的地方,可以对应到图表中下降的曲线。光谱的谱线会形成吸收图案或放射图案。通过这些谱线图案,天文学家就可以知道观测到的天体上存在有哪些元素。又根据谱线的位置,天文学家也可以得知天体是远离或接近地球,以及天体与地球之间的相对速度。

(Dana Berry, STScI 提供)



现在我们眼前的样子。因此，哈勃的高速光度计(High Speed Photometer, HSP)一直是依上述方式运作,以高度的时间分辨率来记录天体的亮度。在安装矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统(Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement, COSTAR)后,才遭替换。

光谱学则是在将光分解成不同成分的波长。像这类光谱的分解,在我们的日常生活中都很常见,例如,白光穿透棱镜或阳光穿透雨滴后,会形成一道色彩鲜艳的彩虹。这些例子就足以证明,从太阳或任何白色光源所辐射出来的光,均涵盖了整个光谱中的所有波长。

事实上,光谱学解决了一连串不同类型的问题,例如,星际间的气体云是由什么化学成分组成?恒星的温度有多高?彗星的化学成分是什么?从星系中心喷出的气流速度有多快?假如我们完全只依赖未经色散的光来研究天体,根本无法回答以上的问题。可见,利用光谱学的方法,我们可以研究恒星、星系、彗星或行星是如何放射和吸收光,进而解开以上的疑惑。

最简单的摄谱工具是分光计,它可以把光分解成间隔细微的不同波长。这样的分解其实普通的棱镜就可以办得到,但是,目前最先进的天文摄谱仪(一种可以收集光、分解光,将结果记录在软片上,或直接储存成电脑资料的仪器)则是使用绕射光栅。这些光栅就是刻画有细线的镜子,当光照经光栅后,光将被分解成间隔非常细微的不同波长。你可以拿起激光唱片上在阳光下看,此时,你会看到唱片上出现了一道纤细、连续、色彩缤纷的彩虹,这就是绕射光栅的基本工作原理。

在化学上,光谱学是一种相当有用的方法,可以非常精确地辨识元素的特征。而且与其他实验相较之下,它的实验过程实在是非常简单,只要不断对元素加热,在元素燃烧发光时研究这些放射出来的光即可。其实,每一种元素都拥有一个很特殊的“指纹”,即光谱。大体而言,光谱看起来就像是一段均匀、连续的颜色,中间夹带着一些非常明亮或阴暗的谱线。从这些谱线当中,光谱学就可以告诉我们物体的来龙去脉。另外,光谱学应用了光谱分辨率(spectral resolution)的概念,即清晰地分辨出光谱中相邻特征的能力。

光谱学的基本法则,是由19世纪一位德国化学家基希霍夫(Gustav Kirchhoff)所建立。他的光谱分析定律描述了各种元素燃烧发光时会出现哪一类型的光谱。基希霍夫第一定律是叙述高温高密度的气体或炽热固体会辐射出连续光谱,即我们可以从它的光谱中见到各种不同波长的光。基希霍夫第二定律是叙述高温低密度气体会产生具有发射谱线(emission lines)的光谱,亦即,物体内含量较丰富的元素会在光谱中以相当明亮的谱线表现。例如,猎户座星云的某些部位在发射光谱中就显得非常明亮。基希霍夫第三定律是描述通过低温低密度的气体来观看连续辐射原时(如恒星),会产生具有吸收谱线(absorption lines)的光谱。研究吸收光谱有助于测定出恒星与地球之间的空间中存在哪些元素,这是一种很聪明的分析方法。一旦来自恒星的光谱出现了缺漏现象(dropouts),就表示某些特定波长的光在星际空间中已被某些物质的云气吸收了。为了鉴定云气物质含有哪些元素,天文学家只要先判断

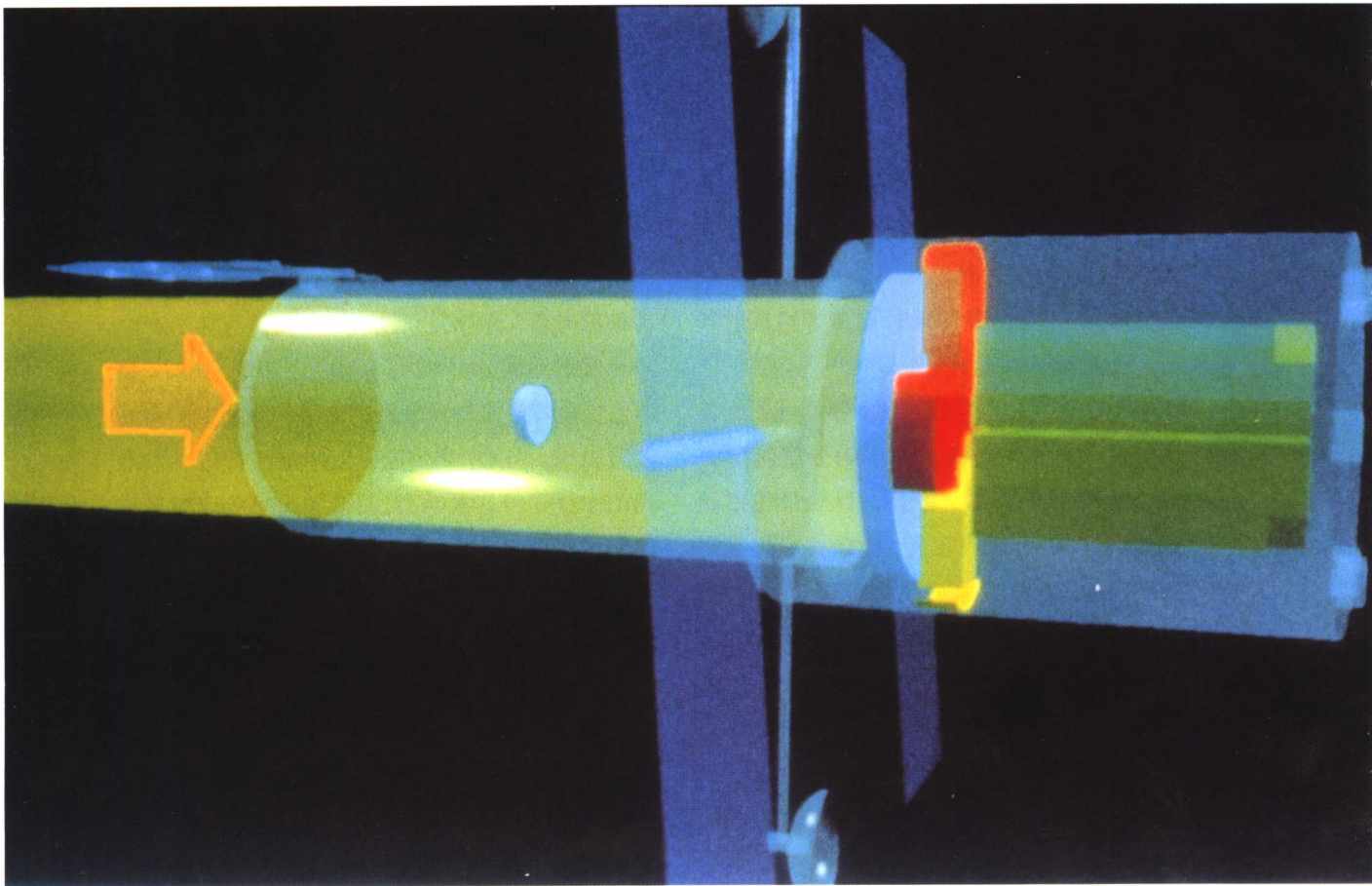
恒星上可能存在的元素种类，再将那些元素的实验室光谱与观测到的吸收光谱作比较即可。

哈勃太空望远镜：复频的时间机器

图1.12 图为哈勃太空望远镜内光的行进路径。箭头代表入射光的方向，入射光会被主镜反射到副镜上(图中的蓝色小圆盘)。接着，副镜再对光作一次反射，让光通过主镜上的一个洞而传送到后方的科学仪器上。这些架设在主镜后方的仪器，分别以红、黄、绿、橙等色块标示。

哈勃就跟地球上的望远镜一样，都是使用镜片和感测仪来作观测。它的操作原理跟其他望远镜完全一样，皆是收集来自天体的光，再交给科学仪

器作分析。又因为哈勃的科学仪器拥有相当不错的灵敏度，可以感测出各种不同波长的光，所以一般人都认为，它为天文学家开启了宇宙“宽广、高分辨率的视野”。由于哈勃本来就设计成在环绕地球的轨道上执行任务，因此它拥有几项地面望远镜所没有的特征。例如，加装了太阳能板，以便发电提供望远镜上所有仪器所需的电力；另外，也加装了磁力计以探测地球的磁场。可是，哈勃也拥有一般操作地面望远



镜的天文学家所熟悉的特征。例如,具备自己的专属电脑、回转仪和感测仪,这些设备在性质上就如同小型望远镜的转盘和寻星镜一般能帮助定位和锁定恒星;另外,还配置了一套与地面联系用的通讯链,就像地面望远镜彼此之间也都架设电信缆线来联系一样。甚至,如有需要,哈勃也可以关闭口径天窗,就好像地面望远镜可以在镜筒上加上护镜盖,或把镜片盖起来一样。

此外,哈勃和其他设立于地面的望远镜相同,皆拥有一群管制员、操作员以及使用者。望远镜的主要控管中心位于美国马里兰州巴尔的摩市约翰·霍普金斯大学(Johns Hopkins University)校区内的太空望远镜科学研究所(Space Telescope Science Institute, STScI)。该研究所负责分配哈勃执行任务的时间,并协助科学家使用望远镜。所有自哈勃传回的资料都储存在这里;另外,由于任务相当引人注目,因此所有相关的公众传达服务,也是由太空望远镜科学研究所来负责执行。研究所附近设有美国航空航天局的哥达德太空飞行中心(NASA Goddard Space Flight Center),负责维持对哈勃的轨道控制,两者在任务上会相互调配。

望远镜的核心是反射镜系统。哈勃的透镜属于光学望远镜组(Optical Telescope Assembly),这是标准卡塞格伦(Cassegrain)望远镜的一种特殊形式:西榭—克里坦式(Richey-Christien)。在卡塞格伦望远镜内,光进入望远镜的镜筒,被主镜反射到副镜上,再反射回主镜,穿过其中间的小孔,最后投像在焦平面上。哈勃的系统则设计成让光投射的焦平面接近于物理定律上的限制,也即望远镜科学家所称的“绕射限制”

(diffraction limit)。

绕射限制是光的物理性质之一,由主镜的大小与入射光的波长决定。如前所述,当光到达哈勃的主镜面时,即应通过两次反射聚焦成一个小光点,投射在焦平面上。理论上,哈勃的反射镜能将85%左右的入射光聚焦成一个小光点,这就是该反射镜的绕射限制,此限制应能确保让最高品质的影像传送到哈勃上的科学仪器。但1990年时发现反射镜无法聚光,反而让光发散了。1993年的第一次维修任务,为哈勃装上了矫正透镜组,将84%的光正确地聚焦通过主镜上的小孔。同时装设的其他新仪器,如广角行星相机(Wide Field and Planetary Camera, WF/PC)号、近红外光相机及多目标分光测热计(Near-Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer, NICMOS),及太空望远镜照相摄谱仪(Space Telescope Imaging Spectrograph, STIS)等,也内设了透镜组以矫正球面像差。

哈勃太空望远镜的科学仪器

哈勃太空望远镜是设计成可以搭载5台科学仪器上太空,而自1990年升空迄今,已陆续装设过8台不同种类的仪器。5台仪器当中,大家最熟悉的就是广角行星相机,它可以将哈勃观测到的物体拍摄下来传回地球。目前,哈勃先后架设过两台这类型的广角行星相机,分别为广角行星相机1号和广角行星相机2号。以上的相机属于径向仪器,是安装在主镜后方,与望远镜的长轴相互垂直。以下提及的其他仪器则属于轴向仪器,安装在主镜后方,而与宇宙飞船的长轴相互

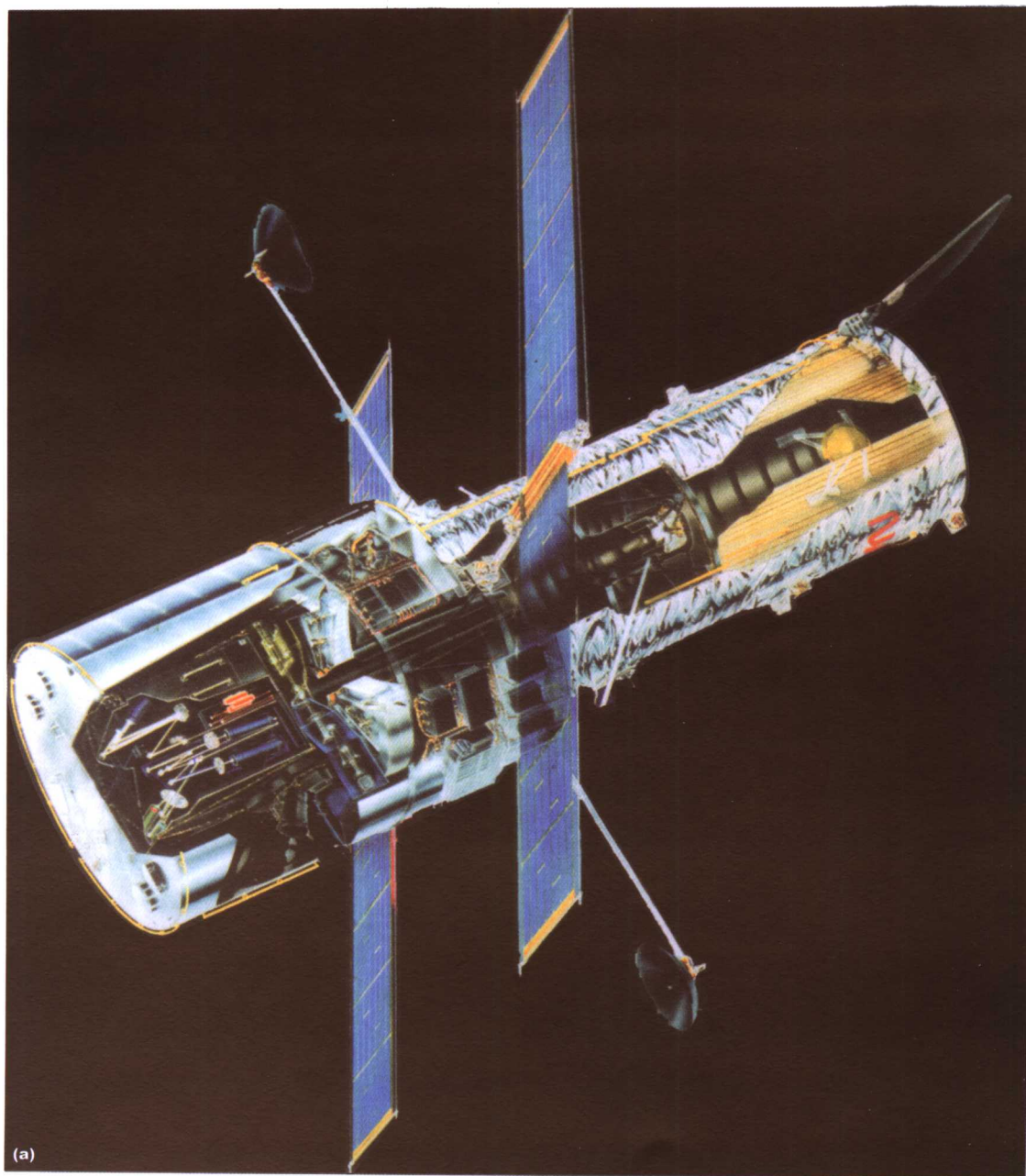
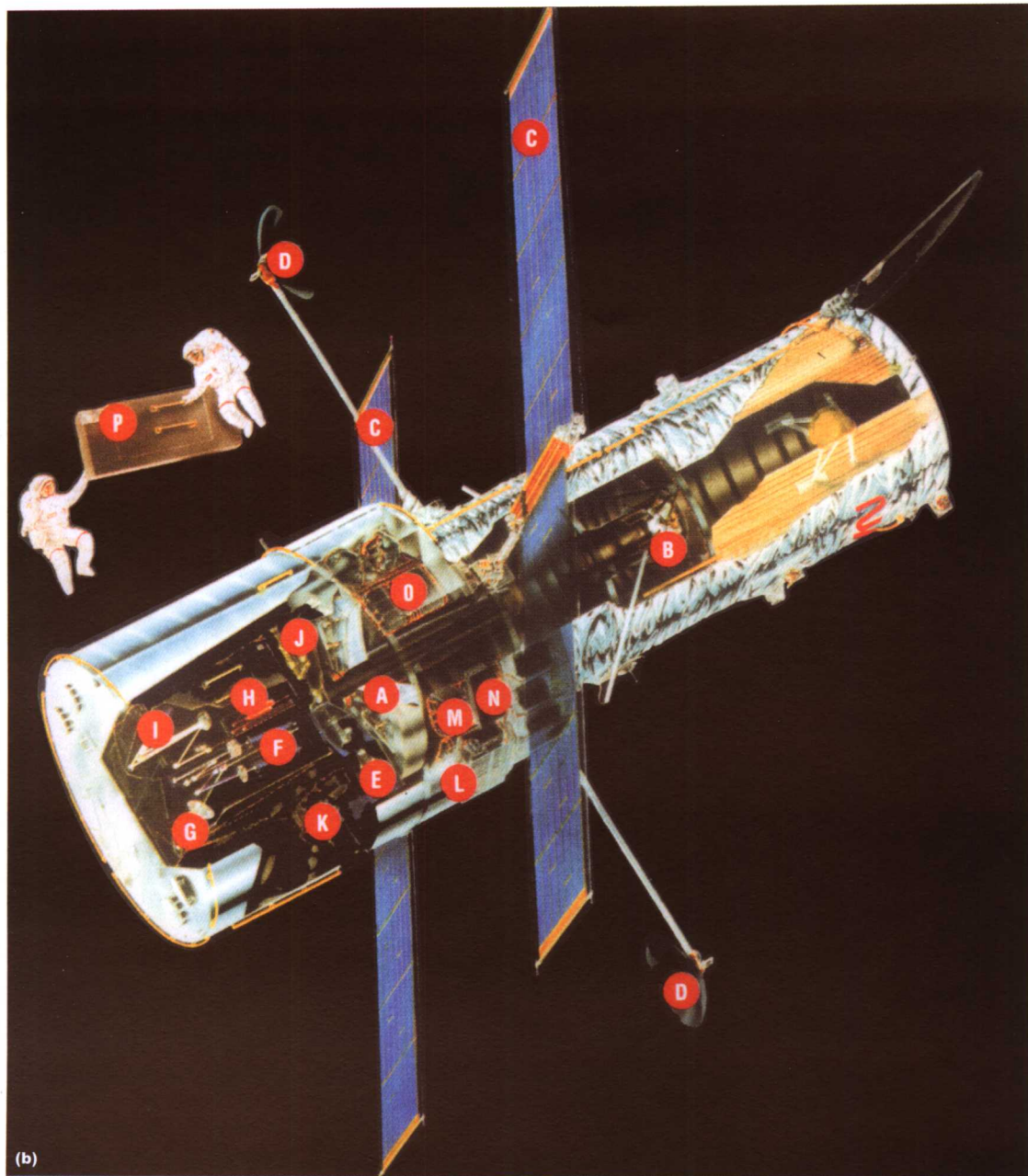


图 1.13 (a)哈勃的剖面简图；(b)望远镜各部位的注解
(NASA 提供)



- | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------|
| A. 主镜 | 光测热计 | N. 资料管理模组 |
| B. 副镜 | H. 高速光度计 / 矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统 | O. 科学用电脑 |
| C. 太阳能板 | I. 哥达德高分辨率摄谱仪 / 太空望远镜照相摄谱仪 | P. 模组化替代仪器 |
| D. 通讯天线 | J. 精密导引感测仪(3部中的1部) | |
| E. 广角行星相机 | K. 定向恒星追踪器(3部) | |
| F. 欧洲航天局的暗淡天体相机 | L. 镍氢电池(6组中的3组) | |
| G. 暗淡天体摄谱仪/近红外光相机及多目标分 | M. 宇宙飞船专用电脑 | |

平行。第二台仪器是暗淡天体相机(Faint Object Camera, FOC),可拍摄可见光影像,对紫外光也相当灵敏。第三台是暗淡天体摄谱仪(Faint Object Spectrograph, FOS),可拍摄大范围波段的光谱。第四台是哥达德高分辨率摄谱仪(Goddard High Resolution Spectrograph, GHRs),纯粹用来拍摄紫外光波段。暗淡天体摄谱仪和哥达德高分辨率摄谱仪于1997年“第二次维修任务”期间,分别为新的近红外光相机及多目标分光测热计和太空望远镜照相摄谱仪所取代。第五台则是高速光度计,是哈勃太空

望远镜的“测光表”。此外,还有一种不在科学仪器之列的精密导引感测仪(Fine Guidance Sensors, FGSs),可用来追踪恒星,并兼作天体测量,以准确量测恒星位置。另外,在1993年的第一次维修任务期间,为了挪出空间来装置矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统,先以广角行星相机2号取代了1号,并将高速光度计移除。

广角行星相机

所有装设于哈勃太空望远镜上的仪器,其实多少在功能操作与波长范围方面都有部分重叠,好让科学家可以

图1.14 此为通过广角行星相机2号所看到的视野简图。右上角的虚线部分,代表广角行星相机1号的“广角”部分视野。
(T.Kuzniar, courtesy of Loch Ness Productions 提供)

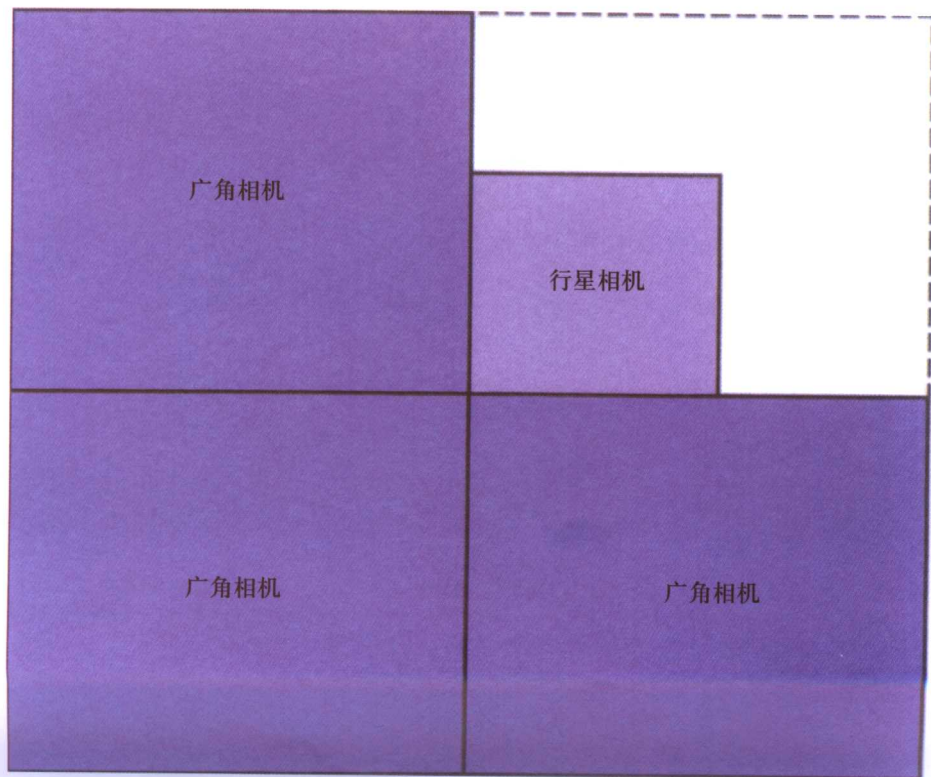




图 1.15 本图是广角行星相机 1 号的照片实例。图为遥远的 CL 0939+4713 星系团的中心区域。第四章对此星系团有更详尽的探讨。

(Alan Dressler, Carnegie Institution, NASA 等提供)

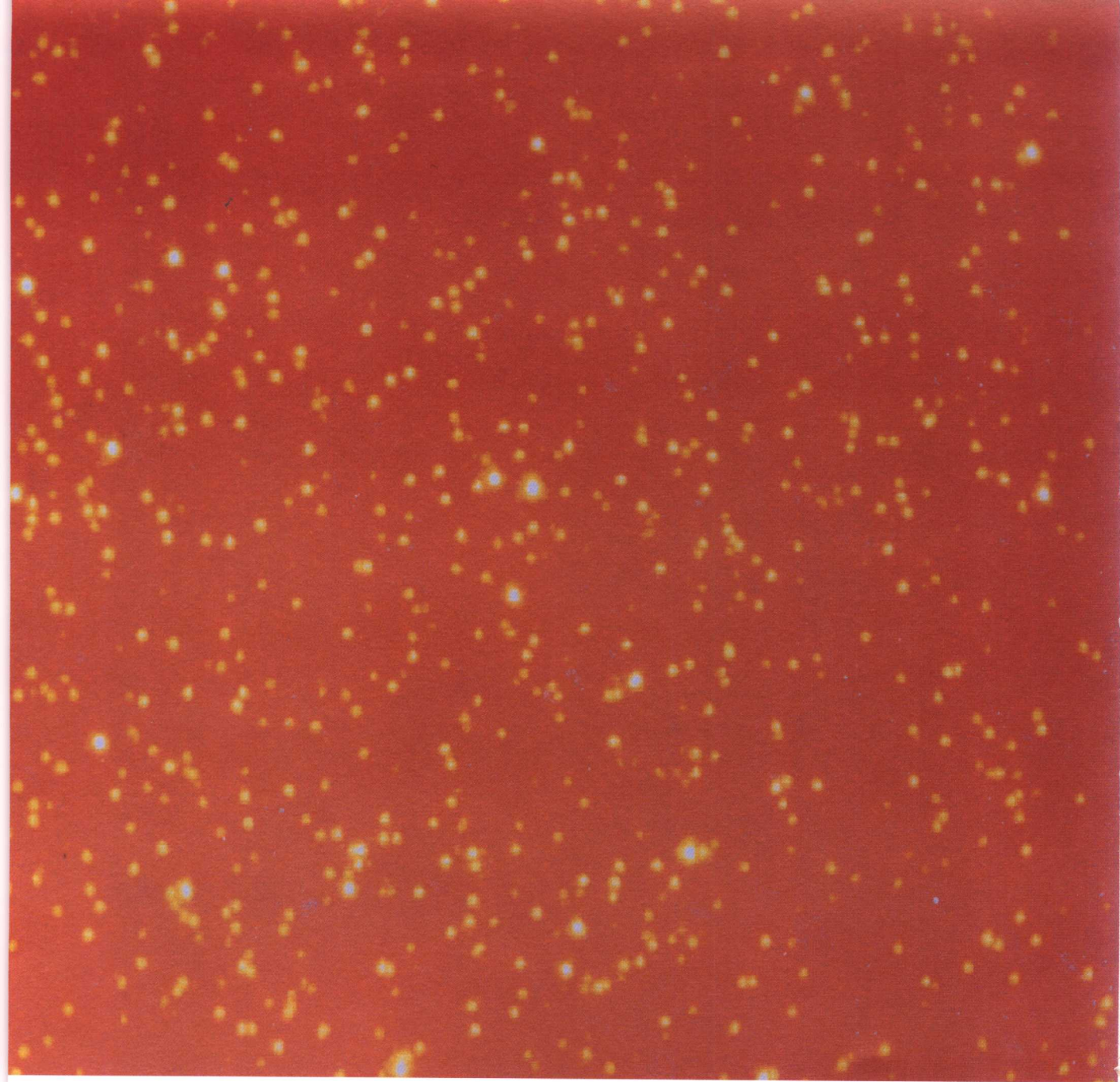


图1.16 图为装上矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统之后，暗淡天体相机摄得编号为47号球状星团核心的影像。此星团的别称为杜鹃座。图的边长为14弧秒，图中可以看到个别恒星的影像。我们已经精确测量出这些恒星的亮度，其中有些恒星极可能是白矮星。

(R. Jędrzejewski, STScI, NASA, ESA 等提供)

针对某天体搜集到非常丰富的资料。在哈勃位于轨道的前3年内,广角行星相机1号是宇宙飞船上所有仪器当中使用率最频繁的一台。如今,内部安装有球面像差矫正系统的广角行星相机2号,就仍然延续着这样高频繁使用的传统。

广角行星相机1号和2号的建造,都是由美国航空航天局位于加州帕沙第纳市(Pasadena)的喷射推进实验室(Jet Propulsion Laboratory, JPL)所负责。其中,担任广角行星相机1号设计指导的是由加州理工学院卫斯特福教授(James Westphal)所领导的“调查定义小组”(Investigation Definition Team)。卫斯特福因为负责相机的工作,稍后获得了“麦克阿瑟创新能力补助金”(MacArthur Genius Grant)。

因为航空航天局希望广角行星相机1号可以传回非常具吸引力的影像和资料给一般大众欣赏,所以万一相机出故障了,替换它的工作势必列为第一优先。因此,在建造广角行星相机1号时,航空航天局同时也提供经费建造另外一台“相机的复制品”,也就是后来的广角行星相机2号。又由于在制造广角行星相机2号的初期,即已知哈勃有球面像差的问题存在,因此,由喷射推进实验室科学家特劳格(John Trauger)所领导的仪器小组,遂在广角行星相机2号内安装了矫正透镜组。因为他是设计第二台相机的小组负责人,所以美国天文协会行星科学组于1997年颁发了“马瑟斯基奖”(Masursky Award)给他,以表扬他对行星科学的贡献。

为了满足对广角行星相机的不同需求,小组将它设计成可以使用两套模式运作的仪器,即广角模式和空间分辨率较高的行星相机模式。理论

上,广角行星相机1号与2号对光波长的灵敏范围,约在1,200埃(紫外光波段)到11,000埃(红外光波段)之间,这段范围也包含了可见光。从哈勃传回的一些壮观绚丽的图片,就是由广角行星相机摄得的。广角行星相机2号的**空间分辨率为0.053弧秒。

广角行星相机1号共使用了两套合计4台电荷耦合器件作为主要的光接收器,通过这4台电荷耦合器件的拍摄,可以得到一幅 1600×1600 的点矩阵图。至于取代了1号的2号,则将4台电荷耦合器件设定成两种不同的放大倍率。其中,有3台为广角相机视野,1台为行星相机视野,这就是为什么仪器传回的影像,有些会呈锯齿状(chevron-shaped)的原因。虽然如此,2号却可以在长期曝光之下,让使用者看到暗达28星等的天体。

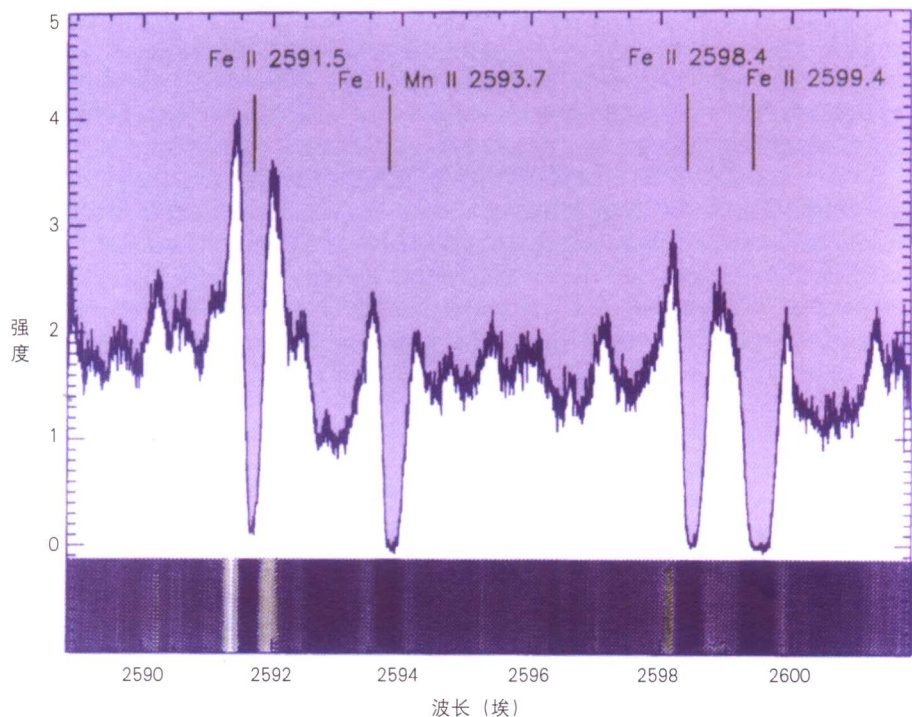
暗淡天体相机

安装在哈勃上的暗淡天体相机是由多尼尔公司(Dornier Corporation)负责建造,资金则由欧洲航天局(European Space Agency, ESA)提供。担任设计的为荷兰莱登天文台(Leiden Observatory)凡得胡斯特(H.C. van de Hulst)所领导的调查定义小组。因此,暗淡天体相机算是欧洲对于这艘宇宙飞船的部分贡献。操作方面则由太空望远镜科学研究所的马伽特(Duccio Macchetto)负责监督,他已参与这个计划很多年了,目前担任该仪器的主要调查员(Principal Investigator)。

暗淡天体相机的整体设计是用来提供窄小视野的高分辨率影像,它对光的灵敏感应范围介于

图1.17 图为哥达德高分辨率摄谱仪拍摄参宿四所得的光谱资料实例。参宿四位于猎户座肩膀,是一颗明亮、微红的恒星,又称为猎户座 α 星。由图中下方的带状光谱,可以看到参宿四光谱中的明亮和黑暗区域。这样的信息,我们也以天文学家惯用的图解方式呈现,如图中上方。哥达德高分辨率摄谱仪分析出参宿四的大气内含有一些铁元素(Fe)与锰元素(Mn)。

(Martin Snow, Univ. of Colorado and GHRS Science Team 提供)



1,150 埃到 6,500 埃之间。暗淡天体相机有两套齐全的感应器系统,配备有影像增强器,能尽量收集远从遥远天体所发出的光。它的最大视野为边长 14 弧秒的正方形,最高分辨率可达 0.042 弧秒。暗淡天体相机的影像是先投射在荧光屏上,再由特殊的电视摄影机扫读荧光屏而得。如果相机准备拍摄的是比 21 星等更亮的天体,则必须使用滤光镜让光变暗一点,以免感应器达到饱和。

和哈勃上的其他仪器一样,暗淡天体相机也曾受到球面像差的影响。目前,它是望远镜上惟一从矫正透镜组

太空望远镜轴心替代系统接收重新聚焦过的光的仪器。

哥达德高分辨率摄谱仪

光谱学是现代天文学中不可或缺的一部分,因此哈勃一共安装了 4 台摄谱仪。在任务进行的前 6 年里,哥达德高分辨率摄谱仪和暗淡天体摄谱仪为使用者提供了宇宙的紫外光景象,这是无法通过别的方式取得的资料。

哥达德高分辨率摄谱仪的建造工程,是由美国科罗拉多州博尔德市(Boulder)博尔航空航天科技公司航空航天部门(Ball Aerospace Systems

Division)负责,担任指导的是布兰特(John C. Brandt)所领导的调查定义小组。布兰特本来在哥达德太空飞行中心工作,1987年时转到科罗拉多大学任教,所以另由哥达德太空飞行中心的科学家希普(Sara Heap)担任协同主要调查员。

哥达德高分辨率摄谱仪内部是由一套光学系统、支援电子电路系统,加上一组结构支撑系统所组合而成。它的工作原理很简单:摄谱仪共有两个光圈,从外面来的紫外光可以通过其中的一个光圈入射到摄谱仪,然后再经过一面准直镜传送到一个旋转台上。这个旋转台置有光栅可以把紫外光散开,所以,观测者可以选择不同的光栅,以针对某类波长的紫外光进行更深入的研究。哥达德高分辨率摄谱仪对光的灵敏感应范围介于1,150埃到3,200埃之间。在中等的解析度模式下,它可以描绘出0.1埃宽的特征;而在高分辨率模式下,则能描绘出0.02埃宽的特征。

暗淡天体摄谱仪

暗淡天体摄谱仪专门用来研究暗到连哥达德高分辨率摄谱仪也侦测不到的暗淡天体。它的建造工程是由美国科罗拉多州丹佛市的马丁·玛丽耶达航空航天科学集团(Martin Marietta Astromautics Group)负责,担任指导工作的是哈姆斯(Richard Harms)所带领的调查定义小组。哈姆斯原先服务于圣地亚哥加州大学。暗淡天体摄谱仪的波长灵敏范围介于1,100埃到8,000埃之间,比哥达德高分辨率摄谱仪的范围更广。它的波长灵敏范围之所以会比较广,其实是牺牲光谱分辨率而换来的,因此,暗淡天体摄谱仪对天体的光谱分辨率就比哥达德高分辨率摄谱仪还

差。反观哥达德高分辨率摄谱仪,它虽然只能拍摄局限于紫外光波长范围内的光,但是却可以“更深入”观察天体,光谱分辨率也比较高。

暗淡天体摄谱仪共有低高两种解析度运作模式。低解析度模式时,可在曝光一小时之下,拍摄到暗达26星等的天体,并描绘出15埃到20埃宽的特征。高分辨率模式时,它可在曝光一小时之下,看到22星等的天体,同时描绘出3埃到4埃宽的特征。

近红外光相机及多目标分光测热计

在1997年,由于加装了两台仪器,哈勃太空望远镜遂变成具“多频”能力的天文台。其中,近红外光相机及多目标分光测热计取代了暗淡天体摄谱仪,以提供望远镜拍摄红外光的能力。它的光谱范围约从8,000埃到25,000埃,最大视野为 52×52 弧秒。近红外光相机及多目标分光计使用了各种滤光镜、偏光镜与棱镜等,来研究最暗达25星等的天体所发出的光,解析度为0.14弧秒。

近红外光相机及多目标分光测热计配有3台相机,针对电磁波谱的红外光范围,尽可能获取最高的取样解析度。为达此目标,仪器的感应器采用固态氮来冷却。它的内部也装有特殊的透镜组,以矫正主镜的球面像差作用。

近红外光相机及多目标分光测热计是由博尔航空航天科技公司负责建造,并由亚利桑那大学的天文学家汤普森(Rodger Thompson)担任指导。

图1.18 图为暗淡天体摄谱仪拍摄活动星系M87的中心区域得到的光谱资料实例。上图中有用红、蓝、黑三种颜色，分别标示三块不同区域的位置和大小，以对应到下方的图表。标以红色的区域光谱，显然表示某块区域正远离我们而去，才会发出红位移的光；标以蓝色的区域光谱代表有蓝位移，亦即物质所发出的光正朝向我们移近；标以黑色的区域光谱表示看不到有系统性的物质运动。其中，红位移的物质大约是以每秒550公里的速度远离我们。这类证据对我们来说非常重要，它可以帮助我们确认在M87中心是否存在有大型黑洞(我们会在第四章中作更详尽的探讨)。
(R. J. Harms, R/JII Scientific, Inc. 提供)

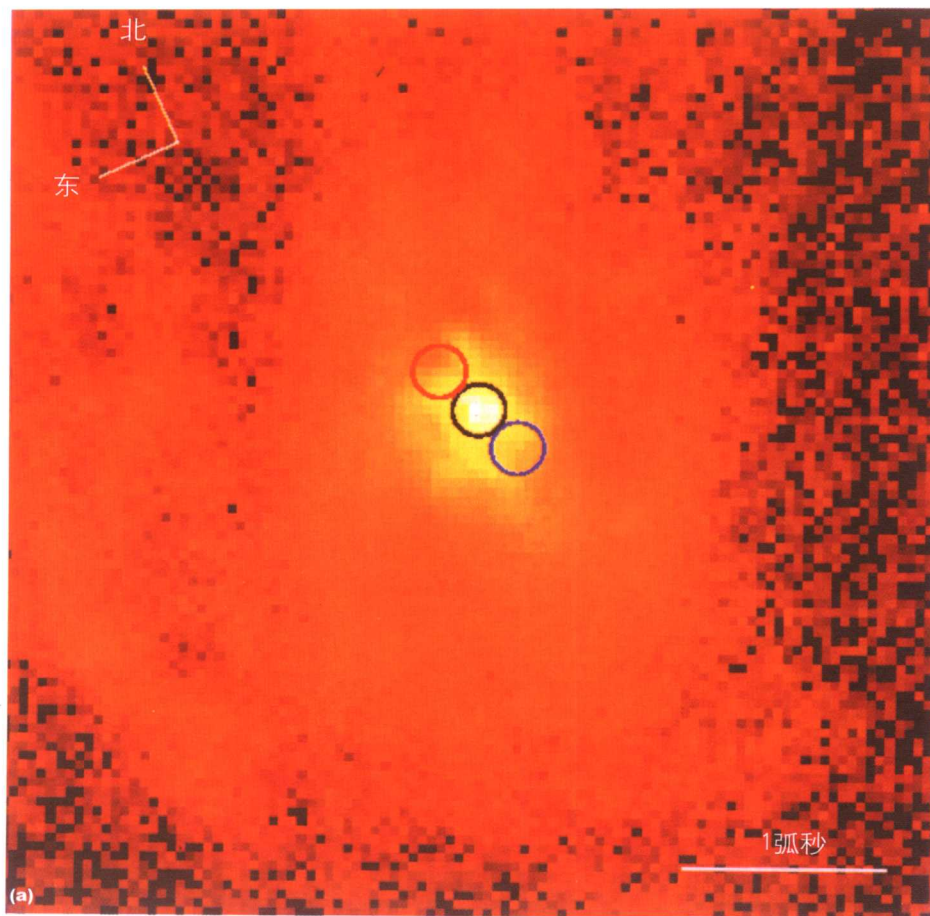
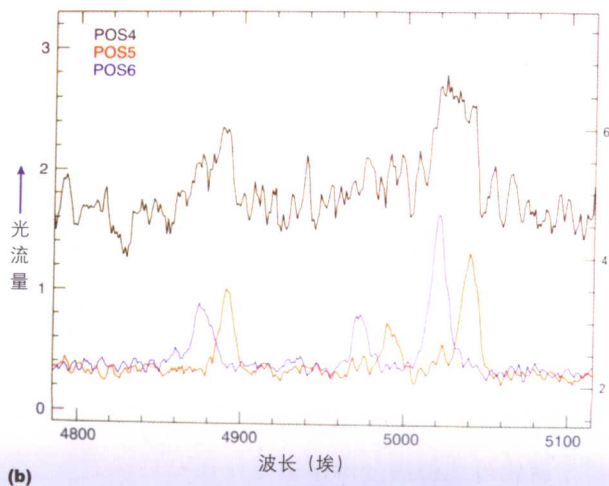
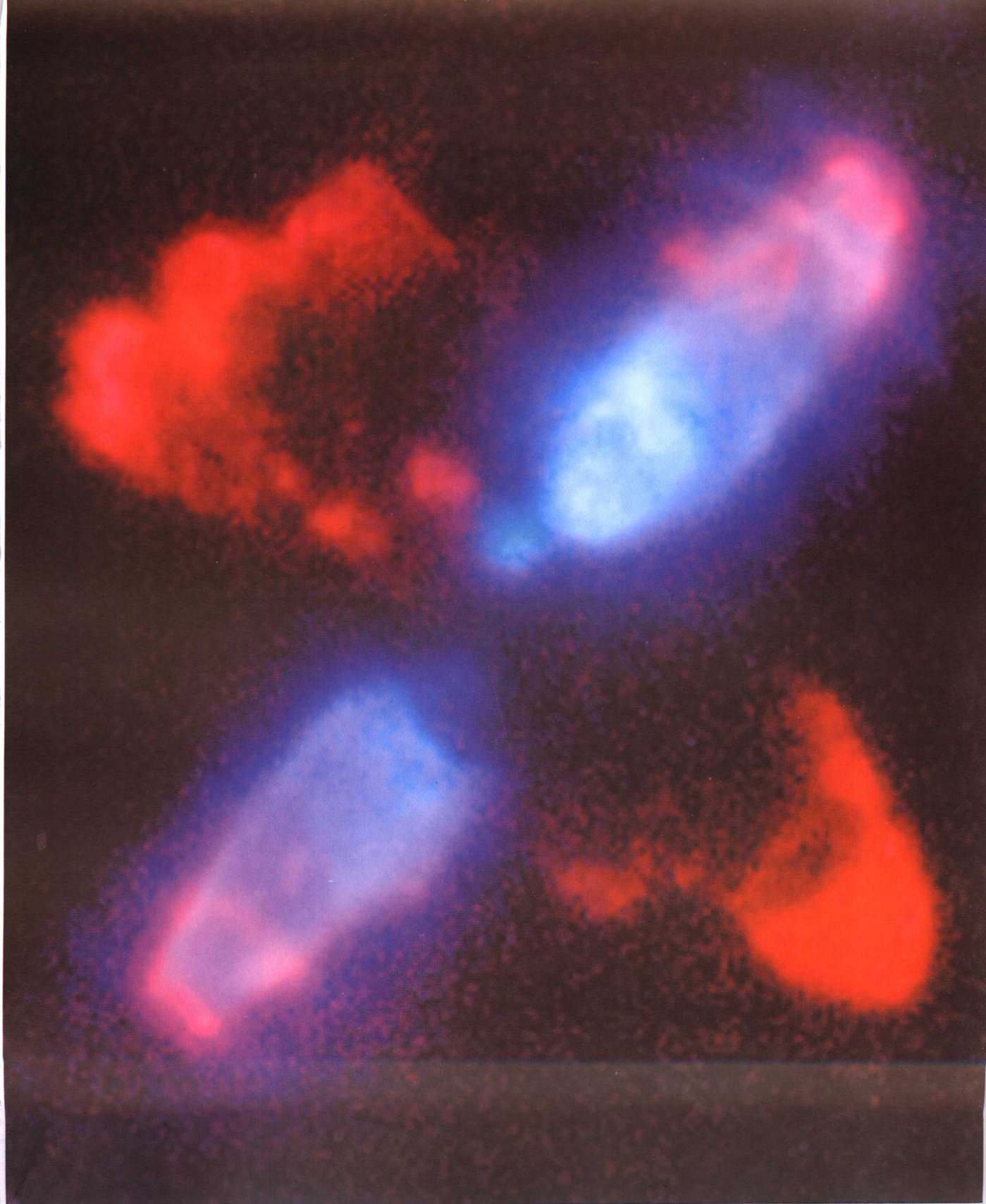


图1.19 (右页)这张图是通过红外光相机及多目标分光测热计的红外光电眼所看见的蛋状星云。
(Rodger Thompson, Univ. of Arizona; NASA 等提供)





太空望远镜照相摄谱仪

太空望远镜照相摄谱仪为一部宽频带、多用途的照相仪器。它的建造工程也是由博尔航空航天科技公司负责，担任指导的则为哥达德太空飞行中心的伍德盖特(Bruce Woodgate)。太空望远镜照相摄谱仪研究的光波长范围介于1,150埃到11,000埃之间，因此，它虽然只在硬体空间上取代了哥达德高分辨率摄谱仪，但在功能上却可以同时取代哥达德高分辨率摄谱仪和暗淡天体摄谱仪。事实证明，它很适合拿来研究从活动星系核到彗星等一系列

的天体。

太空望远镜照相摄谱仪是一部二维摄谱仪。入射光首先会通过仪器上的长狭缝，然后照相摄谱仪就可以针对光源内不同的特定点，同时产生它们的光谱。本仪器最广的视野为 50×50 弧秒，可侦测到最暗达28.5星等的天体。近红外光相机及多目标分光测热计和太空望远镜照相摄谱仪，都具有日冕观测仪的能力，亦即，它们可以遮掉不必要的亮光源，以研究旁边遥远或暗淡的天体。

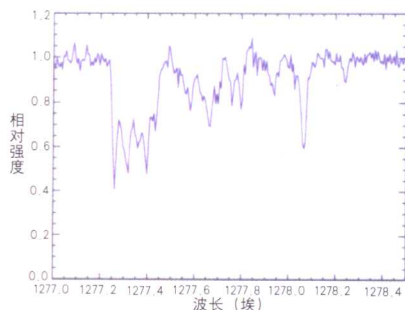
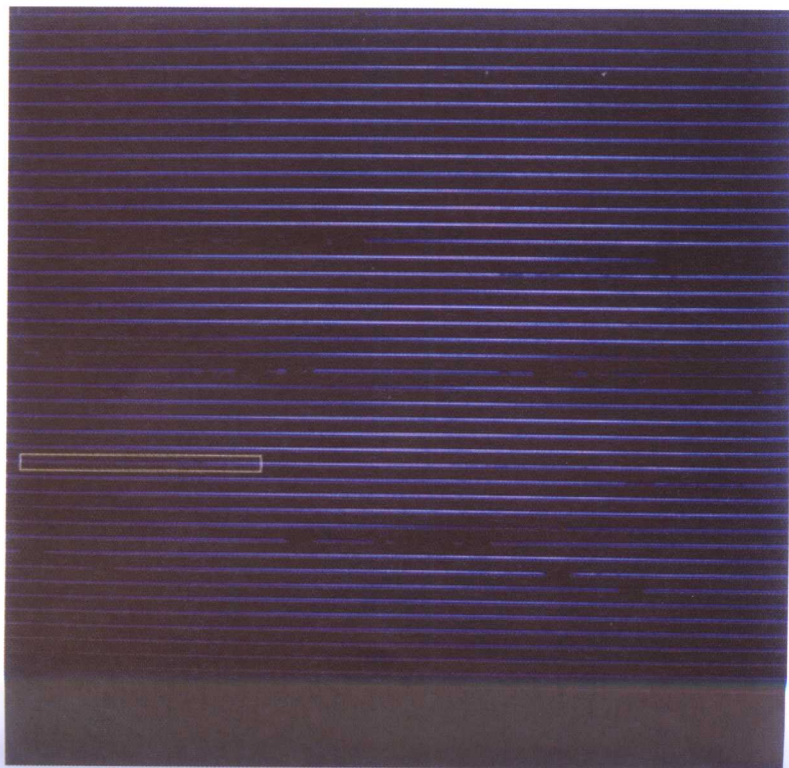


图1.20 图为位于船帆座超新星残骸后方，恒星 HD 72089 的高分辨率光谱，由太空望远镜照相摄谱仪摄得。图中显示了1,196埃到1,397埃的全光谱，以长条带呈现。底部长条带是波长较短的光谱，愈近顶部则波长愈长。最底端的黑暗区段，显示光已遭星际间的中性氢大量吸收。图中长方形所圈选的区域，我们特别以右侧的波长与相对强度关系图来说明。从这里，可以找到一条波长约在1277.3埃的吸收谱线，这是由于光经过超新星残骸时，被其中的中性碳吸收掉了。

(Edward B. Jenkins, Princeton Univ. Observatory, Martin Snow, Univ. of Colorado, NASA 等提供)



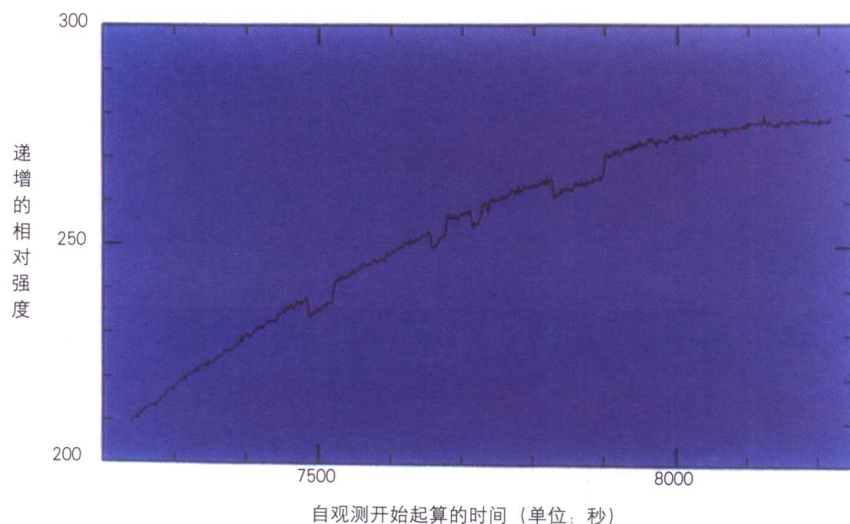


图1.21 图为观测土星环遮掩恒星时, 由高速光度计所取得的光度变化资料实例。本图采样期间, 正值恒星从环中间移向外面的黑纱环。图中可看出数段明显的光度变化特征(第二章中将对本资料实例作进一步探讨)。
(Robert Bless, Univ. of Wisconsin and the HST Team 提供)

高速光度计

高速光度计由威斯康星大学负责建造, 担任指导的是布雷斯(Robert Bless)教授和他所领导的调查定义小组。据布雷斯本人说, 本光度计是设计用来测量宇宙中一些光度会出现快速变化的天体, 这些天体的能量都非常强, 因此, 它的记录取样率必须高达每秒10万次才能跟得上这些光的变化速率。

在前3年任务里, 高速光度计本身的运作功能可说是完美无瑕, 然而, 因为有外在的球面像差和晃动等缺失, 连带造成它的科学计划遭缩减。尤其是球面像差, 对高速光度计的观测能力影响特别严重, 由于镜片会将光发散成光晕, 所以恒星的影像很容易超出光圈的视野, 想要利用那么大的影

像来做精密的工作, 简直是不可能。话虽如此, 高速光度计仍然能够量测到每秒达5万次的变化速率。

精密导引感测仪

精密导引感测仪的建造工程由柏京艾尔摩公司(Perkin-Elmer)负责, 该公司现已改名为休斯丹博利光学系统公司(Hughes-Danbury Optical Systems)。感测仪可以让望远镜取得所需导引星(guide stars)的光, 以作精确的定位。其中的一台精密导引感测仪还有额外的科学用途: 可做恒星定位, 精确度为地面观测的10倍以上。这是因为地面拍摄到的恒星影像会受地球大气干扰而变得模糊, 致使天文学家无法精确量得恒星所在的位置。但还在大气层之上的天空, 明晰度相当良好, 所以作天体测量可以得到非常不

错的结果。

哈勃的精密导引感测仪，是太空中理想的天文测量仪器，目前正由得克萨斯大学杰弗瑞斯(William Jeffreys)所领导的天文小组指导进行一项相关的科学计划。计划中，他们使用这些感测仪，配合欧洲航天局的希帕克斯(Hipparcos)卫星资料，来量测恒星的位置和视差。不过，由于宇宙飞船的观测时间很有限，而且哈勃需花费数月才能获得恒星的视差，所以杰弗瑞斯和他的小组只能针对一些特别感兴趣的天体，譬如物理性质很特别，或是可以拿来当做基本距离的校正指标的天体等。虽然小组得以量测的恒星视差数量很有限，可是，通过精密导引感测仪，却可以大幅提高视差的精确度。杰弗瑞斯向我们解释道：“目前我们尝试对毕宿星团中的6颗恒星进行观测，并且尽可能找出它们的最佳视差。”

另一方面，希帕克斯的探测速度比较快，可以看到超过12万颗恒星，最暗达11星等。使用哈勃作天体测量的目的之一，就是希望能针对非常暗淡的恒星，或诸如双星、造父变星等不易测量的恒星，做出可靠的视差测量。至于其他和精密导引感测仪相关的计划，则还有找寻太阳系外巴纳德星(Barnard's Star)和半人马座比邻星(Proxima Centauri)周围的行星，以及研究毕宿星团内的恒星等，这些计划目前都正在进行。

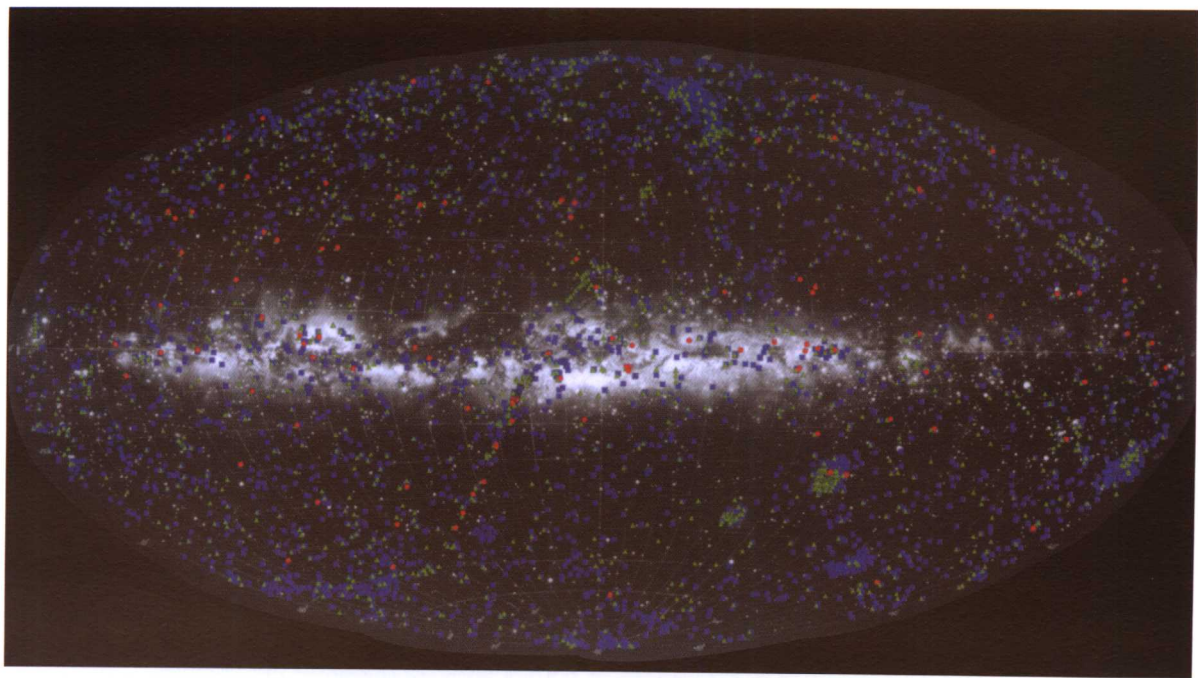
精密导引感测仪的工作原理是必须先知道朝哪个方向可以找得到导引星，然后再从光圈中去找到导引星。因此，在设计哈勃的观测计划时，天文学家必须事先知道导引星的位置。但是，早期哈勃执行任务时，根本就没有储存大约50万颗以上恒星的恒星资料库。为此，哈

勃特别制作了一份可供作导引星之用的恒星列表。建议美国航空航天局如何制作这样一个资料库，正是天文测量小组任务初期目标之一。他们在得克萨斯建立了一套雏形系统，然后再交出设计，以制做出目前哈勃控管人员所采用的导引星系统。

矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统

矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统是一套设计精巧的光学仪器，它“修正”了哈勃太空望远镜主镜上的球面像差。本仪器原先的设计是装置5对硬币大小的镜片在暗淡天体相机、暗淡天体摄谱仪与哥达德高分辨率摄谱仪的前面。这些镜片可以将入射光重新聚焦再传送给后面的轴向仪器，以矫正球面像差。可是，在1997年，太空望远镜照相摄谱仪和近红外光相机及多目标分光测热计，分别替换了哥达德高分辨率摄谱仪和暗淡天体摄谱仪，从此，只剩下暗淡天体相机是唯一使用矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统的仪器。

矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统由博尔航空航天科技公司航空航天部门负责建造，担任指导的为博尔公司计划经理海特林格(John Hettlinger)与太空望远镜科学研究所的福特(Holland Ford)。其实，当初博尔公司接手这项计划时，不仅仅是拿望远镜视力的前途来当赌注而已。福特和其他人曾叙述，这项工程的风险非常高。发现球面像差，不但让美国航空航天局脸上无光，任何人若尝试修复哈勃却失败，也同样会蒙羞。还好，博尔公司派出了一支优秀的小组来解决问题，其中包括了他们最优秀的已故光学



师伯特马(Murk Bottema)。由于这支小组投注的心血，矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统并未辜负众望。在安装成功之后所召开的记者会上，福特对这项成就作了以下说明：“通过把全部的光引入少数几点像素中，我们可以在轨道上(用暗淡天体相机)做的事，相当于从华盛顿特区认出东京区内的一只萤火虫。而且，使用矫正透镜组太空望远镜轴心替代系统可以达到非常高的解析度，高到就像你从华盛顿特区遥望位于东京市内相隔 9 英尺的两只萤火虫，仍然能够清清楚楚分辨得出来萤火虫有两只一般。”

使用哈勃作观测

在天文史上，使用哈勃的观测过程远比其他的观测过程都还要复杂。截至目前为止，已有数以百计的使用者申请并使用过哈勃。可是，为达此目的，他们都必须很努力地通过号称“复杂到匪夷所思的地步”的提案，与观测分配的过程。

平日在使用地面设施时，观测者如果需要观测时间，可以向天文台提报申请书，描述他们想要做的观测内容。接着，“时间分配委员会”(Time Allocation Committee, TAC)就会审阅申请书，以决定是核准或拒绝。如果审阅结果是核准，科学家就可以前往天文

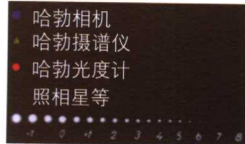


图1.22 从本图可以看出哈勃曾经拍摄过的视野，几乎已经涵盖了全天空领域。图中的每一个方块都代表哈勃拍摄过的“命中点”。

(Zoltan Levay, STScI 提供)

台,架设所需仪器开始观测,天文台还会配置一位夜间助理协助。然后,他们可以将照片、电脑磁盘、录像带等所需的储存媒介携带回家。至于最后一步的资料分析,则可以在观测者的家中或工作单位进行。通常观测者会待在家中,通过电脑连线监视观测过程,并将资料传回。

原则上,哈勃的观测系统也很类似,不过仍有几项重大的差异。首先,要利用一处位于地球低轨道(Low-Earth orbit)的天文台作观测,本身就是相当复杂的过程。由于低轨道的周期仅有90多分钟(亦即,哈勃绕地球一周只需90多分钟),因此,观测通常都要划分成好几小段来进行。在这样困难的观测环境之下,地面系统一定要控制宇宙飞船上的许多功能,然而,这些功能却完全不在观测者的直接操纵范围内。

使用哈勃的观测时间,一样要事先申请,只是手续比较繁复。首先,申请书上得先注明欲观测的天体名称、所需仪器以及科学上的观测理由等,再将申请书以电子邮件寄给太空望远镜科学研究所。设在此研究所之下的“哈勃太空望远镜时间分配委员会”,一年一度聚会讨论这些申请提案,并将推荐名单提交给所长做最终裁决。最后,所长拟定时间分配表,将结果通知观测者,告知他们在使用望远镜上的“排队顺位”。

哈勃的观测者有几类:第一类是所谓的“保障时间观测者”(guaranteed time observers),即担保他们有定量的观测时间可用,以回报他们为望远镜开发仪器的功劳。第二类为一般观测者,他们皆须参加年度的时间竞争。第三类则是业余观测者,但现已不存在。过去在哈勃的业余观测计划盛行时,这类观测者相当普遍。他们所申请

的特殊时段,其实是保留给太空望远镜研究所所长的,称为“所长特别时间”(Director's Discretionary Time)。他们的申请是由一个特别的时间分配委员会负责审核,该委员会由喷射推进实验室的艾伯格(Steve Edberg)和太空望远镜科学研究所的史托克曼(Peter Stockman)所召集。虽然有些业余观测者确实对科学界有所贡献,可是这项计划还是在1996年停摆,因为这些科学上的收获,终究还是抵不过教导业余观测者从提案、观测到写报告的整个过程中所花费的力气。

一旦所提的观测计划通过了,观测内容随即会编码成一串特殊指令,供地面控制系统执行之用。一般在载入指令之后,哈勃会对准某个目标,例如火星,进行观测。等下一个观测任务来临,指令将会通知哈勃再旋转新的位置,或许是猎户座星云(Orion Nebula)。有时,这个新位置的排定过程会利用到目前的位置。另外,程式中会包含导引星的资料和旋转到导引星附近位置的指令,以供哈勃的恒星追踪器找寻导引星之用。假如所有的方向导引参数都满足以下的条件:第一,天体不能靠近太阳到50度角以内,也不能太靠近地球或月球边缘;第二,望远镜不能靠近或经过南大西洋异常(South Atlantic Anomaly)区(此区有强烈粒子辐射),哈勃就可以进行导引星的锁定,并开始找寻目标天体。

当哈勃就定位,仪器也准备妥当时,就可以开始进行观测了。有些观测只要花费几分钟,有些观测却要花费数小时。因为哈勃绕行地球,故长达数小时的观测就需要连续绕很多圈轨道才办得到。此外,每当望远镜移到看不见天体的位置

时,对天体的锁定会失效。所以,等哈勃绕了地球一圈,再度回到原来位置时,就必须重新寻找观测目标。如果观测者选择的目标接近地球的南北极,即所谓的“连续观测区”,则望远镜可以进行较为长期的观测。

一旦观测完毕,资料就储存到望远镜的磁带记录器里,直到某个特定时间才传回地球,由设于美国新墨西哥州白沙市(White Sands)的地面追踪站负责接收。接着,资料会再通过哥达德太空飞行中心转达给太空望远镜科学研究所。这些资料通常在几小时或几天之内就会发布给观测者。

和地面天文台情况不同的是,很少科学家会从头到尾都在太空望远镜科学研究所内,看着他们的资料从望远镜上传送下来。通常,天文学家在轮到排定的观测时间时,会待在自己工作的单位等候观测结果;不过,也有些天文学家会亲自到研究所里,他们经常跟监控人员一起工作。这些监控人员专门负责监视整个观测过程,以防意外状况发生。

使用哈勃进行观测是一段相当漫长费时的过程。对大多数观测者而言,从提出申请到真正完成观测为止,通常要花费超过一年的时间。相形之下,地面天文台只要花费数月即可完成一次观测。由此可见,使用哈勃进行观测并不是一项简单的工作。

虽然整个观测过程很复杂,举凡申请时间和使用望远镜的经验,也都令人感到相当挫折,可是,仍然有越来越多天文学家竞相争取哈勃的观测时间。他们必须从头到尾经历一次这样的过程,而假如一切顺利,他们就可以取得堪以告慰

的资料。曾经不止一位天文学家坦承:“资料非常精彩,但取得过程可谓千辛万苦。”

在天文界,凡是资深的观测者都会忍不住拿哈勃的层层审核过程和一般地面机构的运作情形作比较。根据华盛顿州卡内基协会天文台(Observatories of the Carnegie Institution of Washington)的伟曼(Ray Weymann)所说,手续的繁杂程度可能会比地面天文台的情形还严重,但也不可能不会,总之,申请的程序相当繁琐。此外,他还提到:“那些非常熟悉内部作业的人曾表示,如果你对内幕了如指掌,或是跟太空望远镜科学研究所关系非同一般,那么就可以通过某些管道省掉你很多麻烦。”

我们必须明白,哈勃初期的许多问题都应该归为“成长中的苦痛”,这点相当重要。因此,为了回应使用者的关切声浪,太空望远镜科学研究所曾彻底检讨过一次与望远镜使用者接洽程序。检讨中,有些修正就是为了因应现况,淘汰过时之处,但有些则是缘于所长威廉斯(Robert Williams)在观念上的改变。威廉斯于1993年接任所长。

除了哈勃的使用者之外,一般大众对望远镜的运作也很感兴趣。所以太空望远镜科学研究所设有一个角色积极的“大众传达服务处”(Office of Public Outreach),以提供各家媒体有关哈勃新发现的新闻消息。另外,该服务处也负责对教育界提供服务,只要老师提出要求,就可以取得资料。

毋庸置疑,哈勃早已跻身世界首席天文台之列。无论是观测遥远的类星体,还是发生在我们银河系里的彗星撞击,现在都已让科学家认同哈

勃的价值。不过，可以确定的是，哈勃仍然是只政治怪兽。如果有一天，政府开始设法缩编预算，哈勃甚至还是很可能会被视为“大科学”(Big Science)的奢侈品。而每个人也都会质疑，是否值得花费那么大的心血在哈勃身上。其实，只要一瞥哈勃这些年来所造就的科学成果，我们就知道，这些代价的确值得。




第二章

哈勃太空望远镜 与太阳系

1610年，在一处可以俯瞰意大利帕多瓦城(Padua)的漆黑山丘上，天文学家伽利略通过一架原始的望远镜研究天空，一颗明亮的天体多年以来一直吸引着他。令他非常惊讶的是，他发现这颗天体——即木星——好像被四颗伴随物体环绕着，很类似他之前观测到水星与金星环绕太阳运行的情形。经过连续几晚的观测，他看到这几颗小伙伴在木星周围以复杂的韵律起舞，便认定它们是木星轨道上的卫星家族。对他来说，它们环绕木星运行的模式看起来简直就跟太阳系如出一辙。此时，伽利略刚好又观测起土星，看到土星周围也有些物体。他推论，那或许也是卫星；可是，通过他的简单仪器望去，它们更像是土星的耳朵。虽然他经常推测这些物体的身分，却从未解开这些伴随物之谜。

伽利略并不是第一位注意到天体运动的人。远在他开始观测的好几个世纪之前，便已有人研究天空，注意到这些所谓的“漫游者”，这些光



在她的繁星遮荫之下，暗淡而孤寂的美丽之中，我学到了另一处世界的语言。

——拜伦(Lord Byron)

我愿意告诉你，如何爱上一颗星球。

——鲍尔斯(Robert M. Powers)

点看起来就好像是随意横跨天空一般。当时，不少人费尽心思为它们绘制星图，并预测其运动情形。早期的天文学家，如亚里士多德和托勒密等，虽然已经知道至少5颗行星的运动情形，可是却都没想到这些漫游者，即后人所知的行星，本身其实自成一个天体系统。直到伽利略在日志中把这些行星归类成另一类天体系统，才从此改变了人类对太阳系的认识。

在哈勃之前的探索

40多年来积极的太空探索，不断在改变我们对太阳系的认识。而无人驾驶宇宙飞船(robotic spacecraft)就像好几个世纪以前的探险家一样，侦察了许多地方，并且将无数迷人的第一手照片传送回来。通过宇宙飞船的电眼和电耳，我们见识了形形色色的行星地表、大气结构以及散布太阳系的卫星。

月球是20世纪60年代第一代无人驾驶太空探测船的目标,计有游骑兵号(Ranger)和月面遨游者号(Rover)等宇宙飞船飞向月球。接着,一系列苏俄的火星号(Mars)探测船及美国的水手号(Mariner)宇宙飞船前往火星研究。由于有它们为火星探险铺路,才有20世纪70年代中期的海盗号(Viking)火星登陆船,以及20世纪末的一系列火星探索行动:先是火星拓荒者号(Pathfinder)于1997年登陆,再是1998年起火星全球勘测者号(Global Surveyor)在轨道上执行火星地表制图作业。另外,有一艘水手号宇宙飞船曾前往水星探测;两艘先锋号(Pioneer)金星宇宙飞船、一系列金星号(Venera)宇宙飞船及麦哲伦号(Magellan)探测船曾飞往金星探测;先锋11号、12号及航海家1号和2号(Voyager 1 & 2),则是执行飞越所有其他外行星的任务(冥王星除外);至于伽利略号宇宙飞船则会在前往木星执行大规模任务的途中,顺道观测金星和地球。最后,负责太阳极区观测任务的是尤利西斯号(Ulysses)宇宙飞船,它会从太阳周围的各个有利位置观看太阳风。

天文学家甚至也对小行星和彗星作了第一次的近距离研究,他们探测过的目标有:951号小行星(Gaspra)、伊达(Ida)、马熙尔德(Mathilde)等小行星,以及哈雷(Halley)、贾科比尼-津纳(Giacobini-Zinner)、格里哥-史科勒拉普(Grigg-Skjellerup)等彗星。在近距离探测伊达时,还因此发现了它的小卫星达克季(Dactyl)。而发现其他接近地球的小行星和撞击木星的修梅克-李维9号(Shoemaker-Levy 9)彗星,则促使一些科学家对内太阳系的小型天体进行更有系

统的搜索工作。另外,还有一些天文学家则计划专心研究气体巨行星附近或更远的小型天体。回顾我们过去40多年来在这宇宙汪洋边际沙滩上的探险,可说是成果丰硕,但已故的天文学家卡尔·沙根(Carl Sagan)在《宇宙》(Cosmos)一书中却这样描述:“我们的脚虽然已往海中伸入了一点点,却只恰好足够沾湿我们的脚趾头或顶多弄湿脚踝而已。”

所以你可能会问,太阳系中究竟还有什么需要研究呢?简单一句话,就是每一样都还要研究。我们从过去数十年的行星探索中所获得的只不过是太阳系的初步认识,再有的话,也仅是对它的可能起源增添了一些有趣的理论罢了。目前,我们所缺乏的就是更深层的了解,而这是必须通过长期投入研究才能获得的。虽然我们已经可以针对诸如陨石、板块与火山运动等形成太阳系固态天体的力量作归类,可是对于巨大行星的大气动力学、彗尾的电浆物理学以及位居行星和行星间许多小行星家族的真正构造等,仍尚待学习。现今,在我们研究的太阳系范围内,其实蕴藏许多可以解开太阳系起源之谜的动人线索,而这些线索将可以让我们更清楚宇宙中恒星诞生力量的运作。

最早的宇宙学认为,地球即使不能算是宇宙的全部,至少也应该位居太阳系的中心。后来,以太阳为中心的宇宙学取而代之;接着,主张没有宇宙中心的宇宙膨胀论又取代了太阳中心论。事实上,我们对于太阳系起源的想法也经历了类似的变革。当时,在伽利略进行观测后不到几年的时间,出现了一位哲学家笛卡儿,他尝试解决有关太阳和行星的起源问题。笛卡儿采用的是以

精密观测为基础的系统性科学方法,而不是沿用圣经上的假说或没有科学依据的“理论”。笛卡儿认为原始的气体云中会产生涡流,而这些涡流将形成行星。可是这个早期的理论并没有维持很久,后来又出现另一个人尝试解释太阳系的起源和演化,他就是法国的布丰伯爵(Comte de Buffon)。布丰认为,行星的形成是源于彗星冲入太阳内,这种冲击导致太阳喷出物质,这些物质便变成行星。布丰是第一位提出我们今天称为太阳系“灾变”演化论的倡议者。种种灾变理论之中,有些假设恒星相撞是造成行星形成的根源活动,甚至还有假设只要有一颗恒星行经另一颗恒星周围,就足以引发行星诞生。

18世纪时,哲学家康德提出一个理论,他认为太阳和行星是在同一个连续的过程中形成的。这个想法本身看似不错,可是仍有待更明确的定义。后来,数学家拉普拉斯(Pierre Simon de laPlace)更进一步延伸,认为太阳系的起源地就是旋转的气体星云,这个理论即为现今天文学家所述说太阳系诞生故事的雏形。太阳系的起源地极可能是一团含有氢和氦的气体云,加上重质量恒星(如超新星)爆炸所大量喷出的重元素。这团云可能受到附近超新星冲击波的触发而开始收缩,一波又一波的收缩会压缩原始星云中的物质并使云团升温。另外,起伏的波动也可能促使星云开始旋转,起初转速很慢,但随着重力的吸引,会把团团的物质拉聚起来,旋转速度便会加快。持续旋转一段时间后,星云会变成扁平状,并具备原太阳系(proto-Solar System)一圈一圈轨道的特性。

较大的云团会吸引愈来愈多的物质进来,最

大的一团云气就变成原太阳(proto-Sun)。其他困在星云中的尘粒就会开始相互黏附在一起,形成微行星(planetesimal);微行星彼此相互碰撞聚合,就成了原行星(protoplanet)。

在某时间点,原太阳的压缩热会使温度升高到足以引发核反应。一旦核反应发生,原太阳就变成一颗恒星,会在新生阶段放出强烈的光芒,同时从两极释放出喷流,可达数光年远,就像是在向宇宙宣告它的诞生。从新生的太阳吹出的太阳风,会把周遭残存的气体云吹离内太阳系,只留下太阳和四颗岩质天体,成为现今没有空气的水星与大气层丰厚的金星、地球和火星。比较大的行星具有较大的质量和重力,所以可以保留住含氢气和氦气的大气层,而变成现今的木星、土星、天王星和海王星。至于在这个诞生过程中残存的物质,则散布于太阳系内成为彗星和小行星,以及许多环绕行星运行的卫星。

不过,这套现代版的太阳系形成理论还称不上完整。譬如,有关原始云的起源与云内天体的形成速率,仍留有许多疑点。而且,这套理论还是无法完全解释为何火星和木星之间会存在小行星带,也无法说明在外太阳系富含彗核的柯伊伯带(Kuiper Belt)与欧特云(Oort Cloud)究竟有多大,分布范围有多广等情形。虽然如此,这套理论依然是目前所有形成理论之中最好的一套。

而惟一可以证明这套理论正确与否的方法,就是继续努力探索太阳系,且找寻其他恒星的行星系,以寻求新的线索。

研究人员一般采用下列几种分类方式为太阳系的天体归类:类地行星天体和巨大气体状天体;具大气层行星和无大气层行星;具卫星天体

和无卫星天体；小行星、近地小行星、彗星、绕日轨道彗星、环绕木星轨道彗星、外环带原彗星以及其他分类法等。

同时，因为我们生于地球，所以通常会以地球为基准来衡量其他行星。以大气层为例，地球上由氮气和氧气共同组成的大气层，似乎是太阳系内独一无二的特例。水星没有大气层；金星的大气则充满有毒的二氧化碳和二氧化硫；火星的大气仅有一层薄薄的二氧化碳，但它在遥远的过去可能曾有一层厚厚的气体；至于巨大气体状行星的大气，一般都是由氢气与氦气组成，包含少量甲烷和氨气；而冥王星上透明的大气则由氮气和一氧化碳所组成，其厚度会随着距离太阳的远近而增减。我们知道，地球的大气在行星形成初期，主要是由二氧化碳组成；在经过火山运动释放气体及生命生长等过程的持续作用后，大气才发生变化。然而，也有证据显示金星或火星上过去曾有火山运动，那么它们的大气演化究竟和地球有何差异？固然，地球上存在生命和水的存在，确实会影响地球大气的演化，但是影响的程度有多大？我们又如何能确定？还有，其他行星上的大气演化现在如何进行？这些过程是不是也可能孕育出生命？

为了回答上述及其他众多问题，我们遂将研究仪器瞄准其他行星，以搜集更多研究资料。其中一种有效的方式，就是利用宇宙飞船：一是送宇宙飞船到固定的行星轨道上作长期的行星观测，如探测金星的麦哲伦号；或是让宇宙飞船执行飞越任务作短期的行星观测，如先锋号和航海家号。然而，除了执行长期任务的宇宙飞船，如最近送上火星的拓荒者号登陆船或探索木星的伽

利略号，可以进一步搜集详尽的行星资料，许多送上短期行星之旅的探测船，只能沿着固定的轨道飞越天体。换言之，这些宇宙飞船只能在和行星擦身而过之际，捕捉行星生命中的短暂片刻，因此我们所收到的将只是一些“快照”，即行星在瞬间静止的影像。只可惜，新近建造以执行这类快照式发现之旅的行星探测船只有几艘，而且单凭快照资料实不足以支持长期研究；特别是，太阳系是个动态的世界，变化频繁，所以必须建立常态的观测行动。为了真正了解行星的变化，我们显然需要花更长的时间对我们的太阳系邻居作更多观测。

就在我们期待有更多的行星探测船发射升空之际，哈勃太空望远镜为我们开启了另一扇门，让我们无须远离地球就能研究太阳系内的许多天体。哈勃之所以胜于地面天文台和飞越任务宇宙飞船，主要在于哈勃可以长时间通过宽频带的滤光镜来观看天体，也可以对太阳系的其他成员执行高分辨率的光谱分析。

不过，要实际使用哈勃来观测行星却是一件相当麻烦的事。而且讽刺的是，这些行星明明是距离地球最近的“宇宙邻居”，却给望远镜观测带来最大的挑战。理由是，哈勃也像任何地面上的望远镜一样，必须追踪移动的目标。可是，相较于恒星与星系，行星相对于天空背景的移动速度显然快得多。所以，一旦行星科学家打算使用哈勃作观测时，必须随时考虑到这样快速的行星运动；此外，望远镜本身的轨道运动也必须计算进去。目前，利用哈勃来寻找和追踪太阳系天体的过程，一共用到下列三种方法的组合：“埋伏模式”、导引星模式(利用一连串导引星，帮助望

远镜在绕行地球时仍可精确瞄准目标)以及配合天体运动的慢速扫描模式。

虽然观测行星时牵涉到许多困难,哈勃还是累积了一段相当可观的太阳系探测记录:自1990年以来,哈勃已经拍摄过金星的云层顶部;研究过火星的大气和表面、木星的云层和极光,以及天王星和海王星的大气层;还追踪过土星云层中的风暴,并且在地球穿越土星环的平面时,给予我们从“环边”的角度观看土星的机会。此外,哈勃也收集了相当大量的彗星影像与光谱记录,还发现了新卫星和柯伊伯带中的原彗星,并为冥王星、选定的小行星和其他已知的卫星绘制表面地图。以上这些记录,对于一艘绕行地球的轨道探测船而言,实在称得上是功勋彪炳!

哈勃所呈现的活跃太阳系

火星

自古以来,火星一直令人相当着迷,那屹立不动的淡红色光点在夜空中始终引人注目。我们若通过业余的望远镜(例如8寸或口径稍大者)观看,勉强可分辨出火星表面上的暗淡纹路以及火星极帽在一个火星年内随着季节变化的消长情形。我们偶尔也会看到有行星规模的风暴带来大量灰尘覆盖住地表,所以知道火星有个活跃的大气层。为了能更清楚观看火星,我们需要更大的望远镜,可是,即使地面上最大的望远镜,还是无法看清楚它表面的细部构造。

20世纪70年代,我们曾非常仔细地探测火星数回,前后好几艘美国与苏联的宇宙飞船拍摄

过它的照片。1976年时,两艘海盗号登陆船降落在这颗红色行星上,稳定将火星大气层及表面状况的资料流传回地球。最近又有两艘弗伯斯号(Phobos)及一艘火星观测者号(Mars Observer)尝试对火星进行探索,可惜,因为这三艘探测船最后失去联系,导致任务以悲剧收场。截至目前,仍有许多火星任务持续酝酿中,以延续这项30多年前就开始着手的研究。

大家为什么都对火星这么感兴趣呢?这颗行星无疑已深深影响了我们的集体潜意识,引发我们强烈的探索欲。有些火星迷把火星视为一处未来的殖民地,可供地球移民居住;另外一些人则认为火星在许多方面都跟地球很类似,相当值得研究。绝大部分科学家的兴趣都针对火星的大气状况和表面特性。其实,这些火星研究的背后都有一个强烈的动机,那就是要了解火星上发生了什么事,然后,再把这些事件与地球经历过的情況互作比较。至于那些想把这颗红色行星当做人类第二个家的人,显然也有必要先了解它的气候及地貌状况。可是,想要对火星上的变迁有最正确的认识,就必须长期不断地监测它。

关于火星,有许多问题亟待解答,其中,大部分的问题是想查明火星在早期是不是温暖潮湿的。如果火星在婴儿期水分确实比较充沛,那接下来的问题是:火星刚形成时的水分是否跟地球刚形成时一样多,还是稍少呢?如果假设火星在刚形成时的水分和地球相当,试问,到底发生了什么事,导致火星失去了绝大部分的水。若假设火星刚形成时的水分比较少,就再试着找出为什么会比较少的原因。

不过,无论是哪一种假设,目前可以确定的




图2.1 图为1997年7月,由火星拓荒者号登陆船摄得的阿瑞斯峡谷(Ares Valles)全景。
(NASA, JPL, Caltech 提供)

是,火星上曾经有水流动。整个火星的表面都可以看到这类证据,譬如,长长的渠道与分支交错纵横于尘土平原上,看起来很像是地球上干枯的河床。火星上岩石遍布的古老平原,呈现出一幅大洪流曾经到处肆虐的地景。这些水到底流到哪里去了?现在又在哪儿呢?火星地底的永冻层(permafrost)中,可能锁住了一小部分当时留下的水源,然而,似乎可以确定,绝大部分的水都跑到太空中去了。然而,我们要面临的问题是,该如何去证明这些推论?

一种可能的方法是在高层大气中寻找氙元素。氙是一种氢的同位素,在只含一个质子的氢原子核中加入一个中子就形成氙。又因为氢是构成水的主要元素(水的化学符号为 H_2O ,是由两个氢原子和一个氧原子所构成),故可推测,高层大气层的水分中也找得到氙。

试想,早期的地球如果也通过水蒸气的蒸发循环而使大量的水分逃逸到外太空:蒸气或气态水上升到大气层中,然后分解成氢和氧。因为氢的重量很轻,所以会迅速逃逸到太空中;氙较重,逃得慢一点,所以大部分都留了下来。现在假设这样的过程已进行了数百万年,此时,一群外星访客来到太

阳系进行探索。在他们的旅途中,会发现这么一颗干涸脱水、上面布满陨石坑洞的行星。他们从行星表面纵横交错的渠道遗迹、干涸的河床与冲积平原来推测,这颗行星上过去可能曾经有水的存在。不过,他们将面临到最重要的问题是,为什么这颗行星会演变成这个样子呢?

为了找出原因,他们开始着手测量大气水分的含量,结果发现有一点点水蒸气和丰富的氙。他们从氙的含量得知,在久远的过去,有大量的氢自水里逃逸到太空中,只留下氙。高层大气层中找到的氙含量愈多,就表示过去有愈多的氢逃逸。如果这群外星人计算出现有氙和氢的比例,再依此比例往回推算,也许会推测出这颗沙漠行星过去曾拥有大片的汪洋与丰富的生命。然而,这样的测量与推论是否也适用于火星呢?

过去许多年来,行星天文学家就如同我们先前假想的外星人那般对火星的高层大气层展开探索,试图发现氙的光谱特征。为尽量增进对火星的认识,行星天文学家看遍所有自火星任务收集回来的资料。即使海盗1号宇宙飞船从1982年起就不再传送资料回来,火星的探索并未因而宣告终止,

行星天文学家还是继续循种种管道来研究火星，像是使用地面天文台、美国航空航天局的柯伊伯号空中天文台(Kuiper Airborne Observatory)或是利用一批在地球上找到据信来自火星的罕见陨石来作分析。通过这些研究，行星科学家可以对火星大气层的水、氘、臭氧及其他气体的存在，做出精密估算。例如，根据氢的逃逸理论模式，行星科学家可以计算出火星的氘氢比例，约为地球的5倍之高；对火星表面水分逃逸的估算，则指出火星足足失去约3~27米深的水位！显然，如果我们有一天恢复对这颗行星的现场研究，将会有许多工作亟待完成。

法国国家科学研究中心(CNRS)大气物理研究部门(Service d'Aéronomie)的天文学家贝托(J.L. Bertaux)所领导的小组曾使用哥达德高分辨率摄谱仪，通过短时间曝光来拍摄火星大气层的光谱。他们的报告中指出，根据侦测到称为“赖曼— α D谱线”(D Lyman- α line)的特殊光谱，发现火星大气可能有氘的存在。这个发现，证明行星天文学家可以使用望远镜的摄谱仪来研究火星大气层。近几年来，有几项观测都集中在火星大气层的某些特定部位，以测量二氧

化碳的含量；还有几项观测则全力寻找高层大气层中的氘含量，然后和底层大气层中可能存有的氘含量作比较。如果这些观测可以继续并加以延伸，那么，下一步就是利用这些观测得到的资料来决定火星大规模失去水的导因所发生的时间点。

除了致力于水分变化的研究之外，另有一研究小组在探讨火星大气层中臭氧层的变化。为此，他们投注了多年的哈勃时间观测火星大气层。该小组的成员包括托雷多大学(University of Toledo)的詹姆斯(Philip James)、罗威尔天文台(Lowell Observatory)的已故天文学家马丁(Lesnard Martin)、科罗拉多大学的李(Steven Lee)与科罗拉多州太空科学协会(Space Science Institute)的克兰西(Todd Clancy)等。他们共同着手进行了一系列观测，以测量火星上不同地表特征的反照率(albedo)变化、研究火星大气层的透明度以及测量臭氧层分布的季节性和年度变化。显然，伴随火星大气臭氧层消失的一连串化学反应会产生水蒸气。由于哈勃能在可见光和近紫外光范围拍摄火星，所以小组成员可以测量到臭氧层的辐射吸收情形。无论是在地球或是火星，臭氧吸收在高层大气层

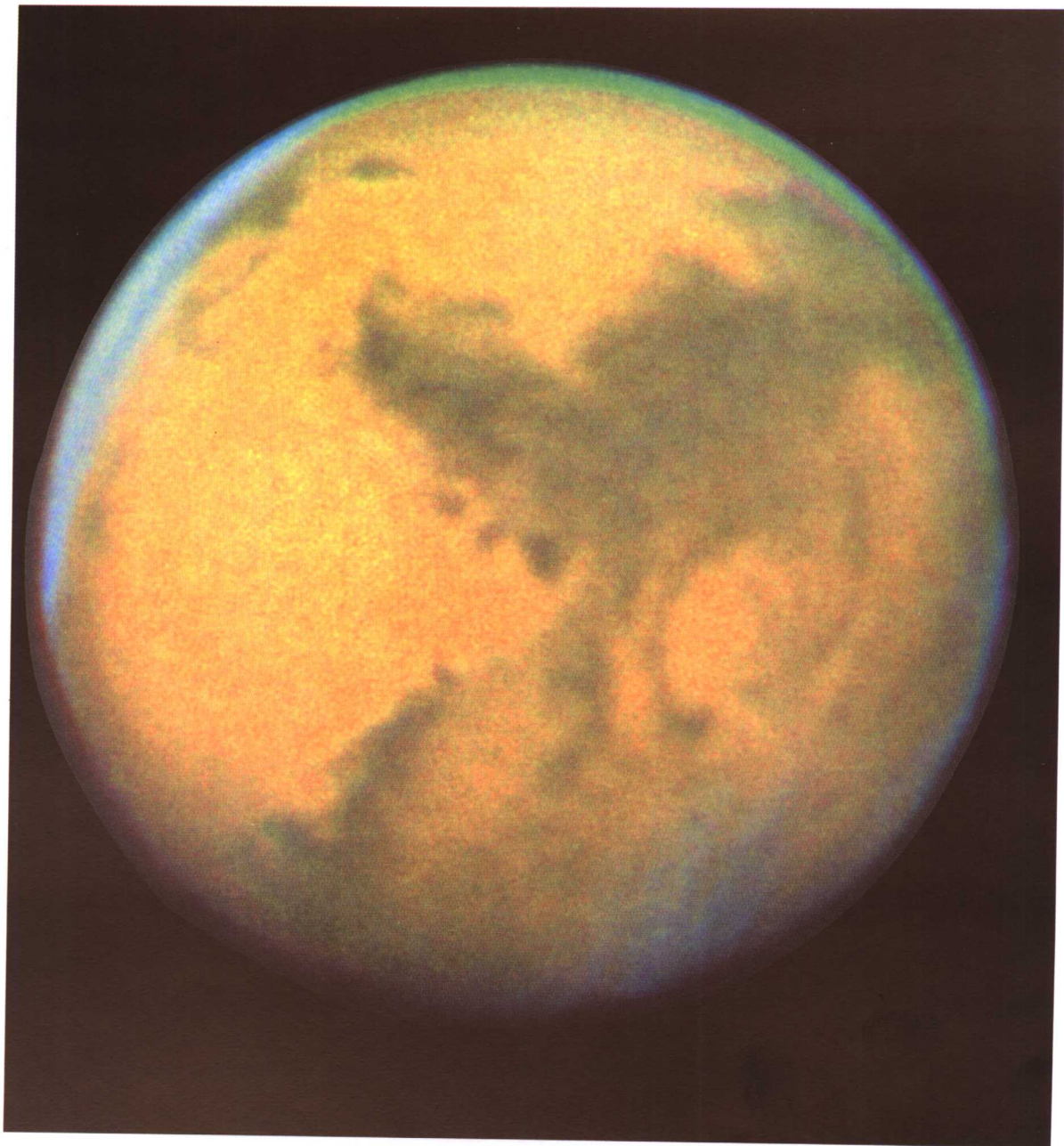


图 2.2 图为火星上的西尔蒂斯大平原(Syrtis Major Planitia), 由广角行星相机 1 号摄得, 图中所见为多张影像色彩合成结果。

(Philip James, Univ. of Toledo, Steve Lee, Univ. of Colorado, NASA 等提供)

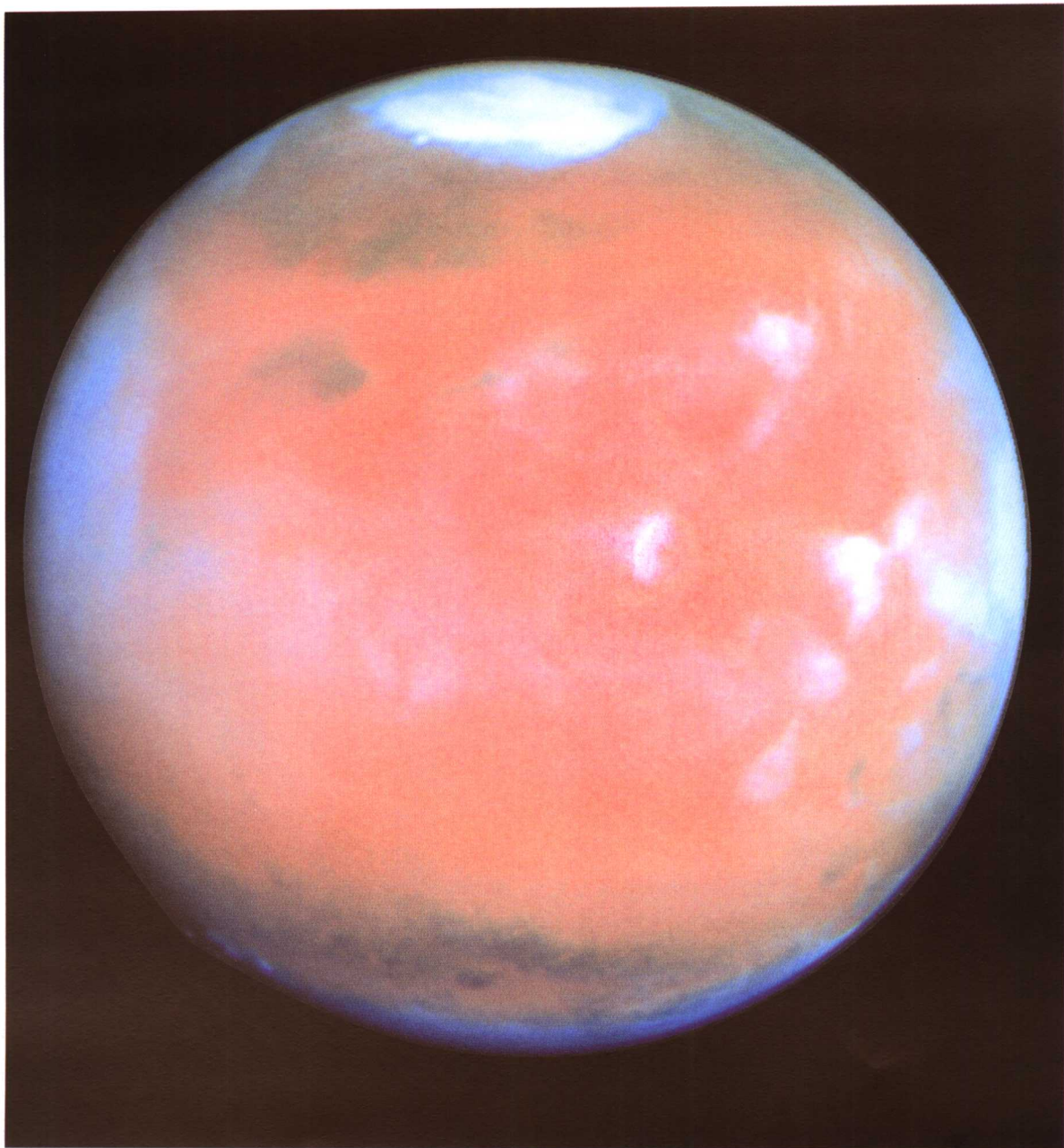


图 2.3 1995 年 3 月 21 日由广角行星相机 2 号摄得的火星照片。

(Philip James, Univ. of Toledo, Steve Lee, Univ. of Colorado, NASA 等提供)

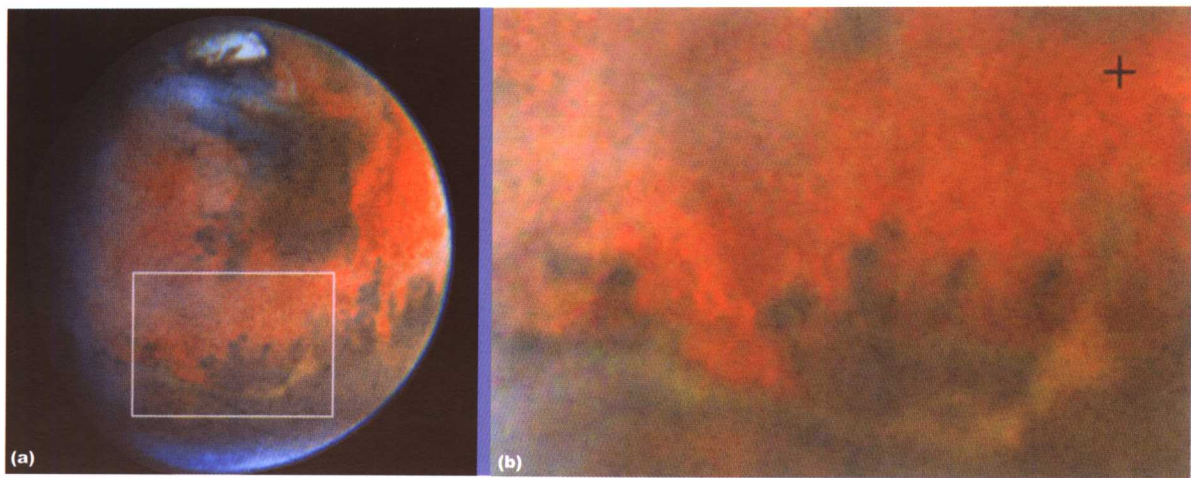


图2.4 (a)广角行星相机2号于1997年6月27日当天摄的尘暴照片,尘暴发生地点在距离拓荒者号的登陆位置约1,000公里远的水手号谷(Valles Marineris)上。(b)图为尘暴特写镜头。“+”代表拓荒者号登陆位置。

(Philip James, Univ. of Toledo, Steve Lee, Univ. of Colorado, NASA 等提供)

中都扮演了重要的角色。尤其是在火星极区大气层变化的过程中,臭氧层的角色特别令人感兴趣。除此之外,该小组也很想深入探究火星极区冰盖如何随季节发生变化。他们初步的研究结果显示,火星大气层中的臭氧含量会随着纬度呈现季节性的变化。又有证据显示,火星北极地区在隆冬时节里有强烈的臭氧吸收现象。

自1990年迄今,詹姆斯所领导的小组陆陆续续发布了一系列照片,将一般观星人所熟悉的火星地貌更清晰详细地呈现出来。例如,图2.2中,一大片状似鲨鱼鳍的黑色区域就是西尔蒂斯大平原(Syrtis Major Planitia),它表面的成分可能为粗糙的黑砂。盛行于火星表面的风,会将灰尘吹到西边那片看起来比较明亮的阿拉伯平原(Arabia Planitia)上。位在西尔蒂斯东边的则为伊西底斯平原(Isidis

Planitia),是20多亿年前一颗陨石冲撞造成的撞击盆地。图2.3中,阿斯克亚斯山(Ascraeus Mons)突出的轮廓高耸于行星边缘高空的稀薄云层之上。

由这些照片看来,20世纪70年代横扫行星、引起观测者瞩目的大规模尘暴,似乎并未规律地出现。李所监视的西尔蒂斯大平原附近区域是火星上一处反照率特征变化极大地方。当风在火星表面四处吹动、搬移尘砂时,反照率便随之改变。这类风移过程或许可以解释火星许多反照率特征改变的现象。1994年初,李和同事在所搜集的哈勃资料中,仍然没有发现任何大型尘暴。虽然有一块称为希伯洛司(Cerberus)的主要低反照率特征区域曾消失在火星上的尘砂中,但仍不足以证明有大尘暴发生。根据先前海盗号传回的资料,如果火星发生了大尘暴,小组应该会观测到重大变化;可是,